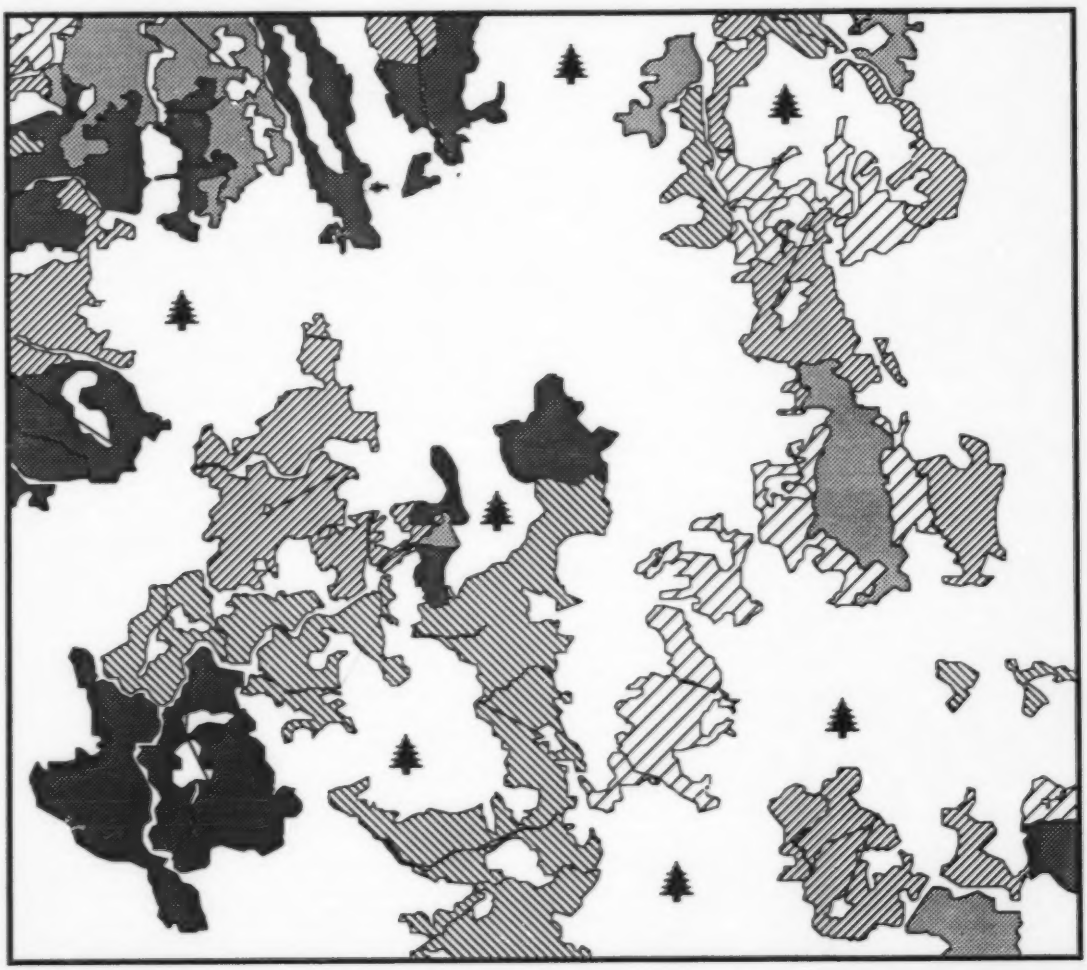
Description et guide d'utilisation du programme HSG de modélisation de la réserve de bois

T.G.E. Moore et C.G. Lockwood
Institut forestier national de Petawawa • Rapport d'information PI-X-98F



Forêts Canada Forestry Canada

Canada

INSTITUT FORESTIER NATIONAL DE PETAWAWA

Le mandat de l'Institut forestier national de Petawawa, comme celui des autres établissements de Forêts Canada, est de promouvoir une meilleure gestion et une utilisation plus rationnelle des ressources forestières du Canada, pour le bien économique et social de tous les Canadiens. Les objectifs des activités des programmes menés à l'Institut appuient ce mandat à travers la découverte, le développement, la démonstration, l'application et le transfert des innovations. En tant qu'institut national, il doit s'attacher à des problèmes qui débordent le cadre régional ou qui nécessitent des compétences particulières de même qu'un équipement non disponible aux installations régionales de Forêts Canada. La plupart du temps, les recherches sont effectuées en étroite collaboration avec le personnel des centres régionaux, des services forestiers des provinces et de l'industrie forestière.

Les travaux de recherche et les services techniques de l'Institut sont regroupés autour de cinq principales activités:

GÉNÉTIQUE FORESTIÈRE ET BIOTECHNOLOGIE — Ce programme encadre des études sur la génétique forestière, la microbiologie, la micropropagation, la génétique moléculaire et la recherche sur les semences. Il comprend également les services à la clientèle et la banque de semences du Centre national de semences forestières. Lié à plusieurs organismes internationaux, ce centre existe depuis longtemps.

SYSTÈMES D'AMÉNAGEMENT FORESTIER — Ce programme intègre en recherche et développement des opérations concernant les incendies de forêt, la télédétection, la météorologie, la modélisation, la croissance, la récolte et le RIMA. Il permet ainsi l'élaboration et la démonstration de systèmes d'aménagement forestier.

STATISTIQUES NATIONALES SUR LES RESSOURCES FORESTIÈRES — Ce programme fournit les renseignements biologiques, techniques et socio-économiques sur les ressources forestières du Canada. Il vise le développement des bases de données et l'établissement de nouveaux logiciels et bases de données pour aider à l'élaboration des politiques forestières. Le Programme d'inventaire forestier recueille l'information sur les forêts au niveau national, maintient le Système sur les ressources forestières canadiennes et prépare l'inventaire des forêts du Canada.

COMMUNICATIONS — Ce programme regroupe les services offerts par la bibliothèque, les travaux touchant la sensibilisation du public, les renseignements, la rédaction-révision et les publications. L'Institut reçoit plus de 20 000 visiteurs chaque année. Le Centre d'accueil, des visites autoguidées et un programme éducatif complet sont ouverts à tous. C'est à l'IFNP que l'on trouve l'entrepôt et le centre de distribution national de toutes les publications scientifiques de Forêts Canada.

LA FORÊT EXPÉRIMENTALE — Outre des peuplements naturels où l'on applique divers traitements dans le cadre des plans de recherche en sylviculture, la Forêt de Petawawa, mesurant 100 km^2, comprend de vastes superficies de plantations âgées de plus de 60 ans. Les plantations expérimentales livrent des données sur la croissance et la récolte à la suite des expériences de culture. Elles fournissent aussi du matériel génétique dont le lignage est répertorié et qui se révèlent de plus en plus utiles pour les études sur la micropropagation et la génétique moléculaire. C'est un lieu par excellence pour mettre à l'essai des stratégies d'aménagement forestier à court et à long termes.

DESCRIPTION ET GUIDE D'UTILISATION DU PROGRAMME HSG DE MODÉLISATION DE LA RÉSERVE DE BOIS

T.G.E. Moore et C.G. Lockwood

Rapport d'information PI-X-98F
Institut forestier national de Petawawa
Forêts Canada
1991

91-05856/

©Ministre des Approvisionnement et Services Canada, 1991
N° de catalogue Fo46-11/98-1990F
ISBN 0-662-96863-8
ISSN 0228-0736
Imprimé au Canada

It est possible d'obtenir sans frais des exemplaires de cette publication auprès de :

Forêts Canada
Centre national de diffusion
Institut forestier national de Petawawa
Chalk River (Ontario)
K0J 1J0

Téléphone : 613-589-2880

Des copies ou des microfiches de cette publication sont en vente à l'adresse suivante :

Micromédia Ltée
Place du Portage
165, rue Hôtel-de-Ville
Hull (Québec)
J8X 3X2

This publication is also available in English under the title
The HSG wood supply model: description and user's manual.

Table des matières

v Résumé/Abstract

1 Chapitre 1. Introduction

2 Chapitre 2. Caractéristiques du programme et principe de fonctionnement
2 Principe de fonctionnement
4 Mise à jour de l'état des peuplements
6 Établissement du calendrier d'exploitation
7 Résultats du programme

9 Chapitre 3. Préparation des ensembles de données
9 Liste des peuplements
9 Tables de rendement
10 Table d'état
11 Condition d'appariement
14 Partie «action»
14 Caractéristiques spéciales de la table d'état
15 Liste des traitements prioritaires
15 Calendrier imposé
16 Fichier des conditions d'admissibilité

19 Chapitre 4. Le générateur de calendriers d'exploitation
19 Appel du programme HSG
19 Contenu du fichier des paramètres
19 Instructions de description
19 TITLE
19 DESC
19 Fichiers d'entrée obligatoires
19 INVENTORY
19 YIELD
19 STATES
20 Fichiers d'entrée optionnels
20 INDEX
20 CONSTRAINT
20 TREATMENT
20 MANDATORY
20 Fichiers de sortie optionnels
20 SCHEDULE
21 SNAPSHOT
21 Commande d'initialisation
21 BEGIN
21 Commandes qui influent sur le temps d'exécution du programme
21 SILVA
21 OPMIN
21 STEP
23 Exemple expliqué d'un fichier de paramètres

25 Chapitre 5. Analyse et affichage des résultats
25 Données récapitulatives
26 SUBSET
27 PSCHART, SUNCHART, TEKCHART, IBMCHART
27 TWOWAY
27 TABLE

28 Références
28 Remerciements
29 Annexe A.
31 Annexe B.

Résumé

Le document décrit un système d'organisation lequel a été préparé pour assister à la conception et à l'évaluation des périodes de récolte de bois à long terme. Le composant principal de ce système est un modèle de réserve de bois qui suit le développement de chacun des peuplements dans le temps. Dans le modèle sont inclus les paramètres géographiques de tous les peuplements pour toutes les prévisions. Grâce à ce fait, les erreurs de prévision causées par l'agrégation sont éliminées. Dans les secteurs où l'emplacement géographique joue un rôle important pour déterminer les périodes de récoltes possibles, les règles de l'algorithme qui établissent le plan de récolte et qui dépendent des paramètres géographiques peuvent améliorer substentiellement la possibilité des prévisions générées par l'ordinateur. La première partie du présent rapport décrit la caractéristique du modèle. Les instructions en vue de préparer les bases de données et de faire fonctionner le logiciel se trouvent dans la deuxième partie.

Abstract

This document briefly describes a planning system prepared to assist in the design and evaluation of long-range timber harvest schedules. The central component of this planning system is a wood supply model that operates by tracking the development of individual stands through time. The model retains the spatial identity of all stands through all forecasts and thus eliminates forecasting errors caused by aggregation. In areas where geography is an important factor in the design of feasible harvest schedules, the spatially-dependent rules in the harvest scheduling algorithm may substantially improve the feasibility of the computer generated forecasts. The first part of this report describes the features of the model, and the second part provides instructions on how to prepare datasets and operate the software.

Chapitre 1. Introduction

Le présent document décrit brièvement un ensemble de programmes rédigés dans le but de faciliter l'élaboration et l'évaluation de calendriers à long terme pour la récolte du bois. Ces programmes ont été développés dans le cadre du Programme de la modélisation de l'aménagement forestier à l'Institut forestier national de Petawawa en collaboration avec la Division Iroquois Falls d'Abitibi-Price Inc., le Bureau régional du nord du ministère des Ressources naturelles de l'Ontario et Forêts Canada. Le logiciel développé dans le cadre de ce programme a facilité l'élaboration du plan 1990-1995 de gestion du bois dans le cadre de l'Accord de gestion de la forêt d'Iroquois Falls.

L'élément central de ce système de planification consiste en un modèle de l'approvisionnement en bois qui fonctionne en effectuant le suivi de l'évolution dans le temps de peuplements forestiers individuels. Ce modèle est un système séquentiel de projection du stock forestier semblable à FIRFOR (Newnham, 1988), FORMAN (Wang collab., 1987), WSM (Baskerville, 1982) et WOSFOP (Hall, 1978). Toutefois, ces modèles ne tenaient pas compte, dans le regroupement des peuplements en strates, de la situation spatiale. Nous estimons que le modèle décrit dans le présent document constitue une amélioration importante par rapport aux modèles précédents parce qu'il prend en compte la situation spatiale de tous les peuplements décrits dans le répertoire forestier pour toutes les prévisions. De cette façon, les planificateurs pourront élaborer un calendrier des activités de gestion propre à chaque endroit puis évaluer les incidences à court et à long terme de ces calendriers. De la sorte, on peut concevoir des traitements de gestion propres à chaque endroit et les évaluer en fonction de leurs incidences prévues sur le niveau de la forêt.

Grâce à un tel système, le planificateur peut étudier des questions de stratégie du genre «Quel niveau d'exploitation peut-on imposer à la forêt?» ou «À quel type de forêt les opérations de récolte donneront-elles lieu?» ou encore «De quelle façon un niveau accru de traitement modifiera-t-il le niveau d'exploitation maximal?». Le planificateur peut exécuter un certain nombre de passages du programme de simulation en modifiant systématiquement les paramètres de celui-ci en fonction de différentes stratégies de gestion. En comparant les résultats obtenus dans chaque cas, il peut estimer les incidences de ces dernières sur la forêt. On ne peut pas s'attendre à ce qu'un modèle fournisse une réponse unique et définitive à une question de planification complexe; toutefois, le planificateur peut se servir des informations que lui fournissent divers passages du programme de simulation pour comprendre les incidences de diverses stratégies de gestion et l'aider à choisir la meilleure.

Comme c'est le cas de n'importe quel modèle quantitatif, les méthodes décrites dans le présent document reposent sur une interprétation numérique d'un problème du monde réel. Le modèle de planification HSG n'a pas pour but de fournir une solution optimale à des problèmes de planification de la gestion du bois. Toutefois, lorsqu'on s'en sert de façon systématique et rationnelle, les modèles quantitatifs permettent de se faire une meilleure idée de la nature des problèmes «réels» et facilitent le processus de conception et de comparaison des solutions.

Le présent document a pour but de décrire les caractéristiques du système et de fournir des directives sur la façon de préparer les ensembles de données et d'exploiter le logiciel. Le chapitre 2 décrit les caractéristiques du modèle de simulation et le principe de son fonctionnement. Le chapitre 3 décrit le format et le contenu des ensembles de données et présente des directives sur la manière de préparer ces derniers. Les commandes de lancement et de gestion des simulations sont décrites dans le chapitre 4 .

Le chapitre 5 décrit le format des ensembles de données de sortie ainsi que le logiciel de reformatage et d'affichage des résultats. L'annexe A décrit un exemple de passage du programme.

Le logiciel décrit dans le présent document a été développé sur un micro-ordinateur SUN tournant sous le système d'exploitation UNIX; ce logiciel a également été compilé pour tourner sous MSDOS sur les ordinateurs Intel 80386. On peut se procurer des copies du code source du programme en «C» en s'adressant à Forêts Canada. L'annexe B décrit le logiciel ainsi que le matériel nécessaires à l'exploitation du modèle. Pour de plus amples renseignements sur le logiciel, veuillez communiquer avec :

Tom Moore
Institut forestier national de Petawawa
B.P. 2000
Chalk River, Ontario, Canada
K0J 1J0

Chapitre 2. Caractéristiques du programme et principe de fonctionnement

L'élément central de ce système de planification consiste en un modèle de réserve de bois qui fonctionne en effectuant le suivi du développement de peuplements forestiers individuels dans le temps. La prise en compte de la situation spatiale des peuplements permet d'améliorer le système de prévision de deux façons. En premier lieu, on peut fournir au programme de prévision de la croissance des données détaillées sur chaque peuplement. On obtient ainsi des estimations de la croissance de meilleure qualité et on parvient à éliminer les erreurs de prévision causées par le processus d'agrégation. En second lieu, la récolte autorisée est définie peuplement par peuplement. On peut donc faire dépendre l'algorithme d'élaboration du calendrier d'exploitation de facteurs spatiaux et s'arranger ainsi pour que le modèle fonctionne de façon plus conforme aux règles appliquées par les planificateurs dans la réalité. En outre, comme le modèle précise explicitement les raisons de ses prévisions (c'est-à-dire les peuplements qui sont choisis pour la récolte), on peut également examiner le calendrier produit par le modèle et trouver en quoi les contraintes opérationnelles n'ont pas été respectées.

Dans le présent chapitre, nous allons décrire brièvement le principe de fonctionnement du modèle. Dans la première section, nous allons examiner les mécanismes auxquels le modèle fait appel pour prévoir la croissance au niveau du peuplement ainsi que la manière dont l'algorithme d'établissement du calandrier d'exploitation tient compte des contraintes. Bien que l'utilisation de ce modèle n'exige pas qu'on dispose d'un SIG, ce dernier permet de réduire considérablement la tâche de saisie et d'interprétation des données spatiales. Nous allons voir dans les sections suivantes comment on peut se servir d'un système d'information géographique (SIG) pour préparer les données d'entrée du modèle et afficher les résultats de la simulation. Dans le système prototype, nous nous sommes servis du SIG ARC/INFO. Toutefois, le modèle a été conçu pour pouvoir fonctionner avec n'importe quel SIG doté d'un système de gestion de base de données relationnelle.

Principe de fonctionnement

Le modèle de réserve en bois fonctionne de la même façon que d'autres modèles du même genre, notamment FIRFOR, FORMAN, WSM et WOSFOP. Un répertoire de peuplements forestiers définit l'état initial du modèle. Les variations en fonction du temps de l'état de ces peuplements sont décrites au moyen de tables de production. Le modèle prévoit séquentiellement les changements qui se produisent dans une forêt selon une série de pas temporels discrets. Voici la suite des opérations effectuées pour chaque pas : simulation du vieillissement de tous les peuplements de la forêt; mise à jour des enregistrements correspondant aux divers peuplements de façon à simuler l'évolution de ces derniers (croissance ou décroissance); et simulation de la mise en œuvre des opérations d'exploitation et des opérations sylvicoles (figure 2.1). On répète ce procédé (en général sur des périodes de cinq ans) un certain nombre de fois pour prévoir l'évolution de l'approvisionnement en bois sur une période de planification à long terme, souvent 100 ans ou plus.

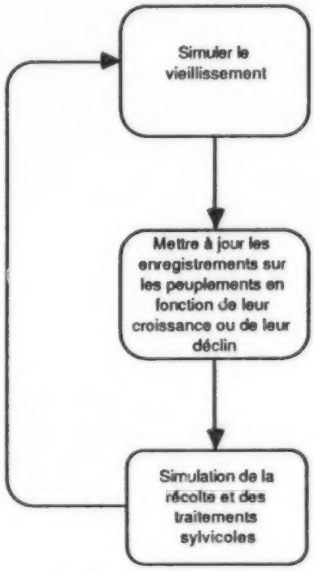


Figure 2.1 Suite des opérations exécutées par le programme de simulation. Le cycle «vieillissement, croissance, récolte» est répété par le programme aussi loin dans l'avenir que le planificateur le désire.

La base de données primaire exploitée par le modèle consiste en une liste qui contient un enregistrement pour chaque peuplement forestier du répertoire. Le format de cette liste est décrit dans le chapitre 3. Lors de l'exécution du programme, ce dernier commence par la lecture de la base de données puis range dans sa mémoire la liste des peuplements forestiers. À chaque peuplement est associé un identificateur géographique unique constitué de l'identificateur numérique du peuplement et du numéro de la feuille de carte sur laquelle il apparaît. Le système de gestion de la base de données relationnelle du SIG permet d'établir un lien entre les enregistrements correspondant aux peuplements d'une part et la description spatiale de leur emplacement d'autre part (figure 2.2). Pourvu que des identificateurs univoques soient utilisés, le SIG peut manipuler et afficher les fichiers de données exploités ou générés par le modèle.

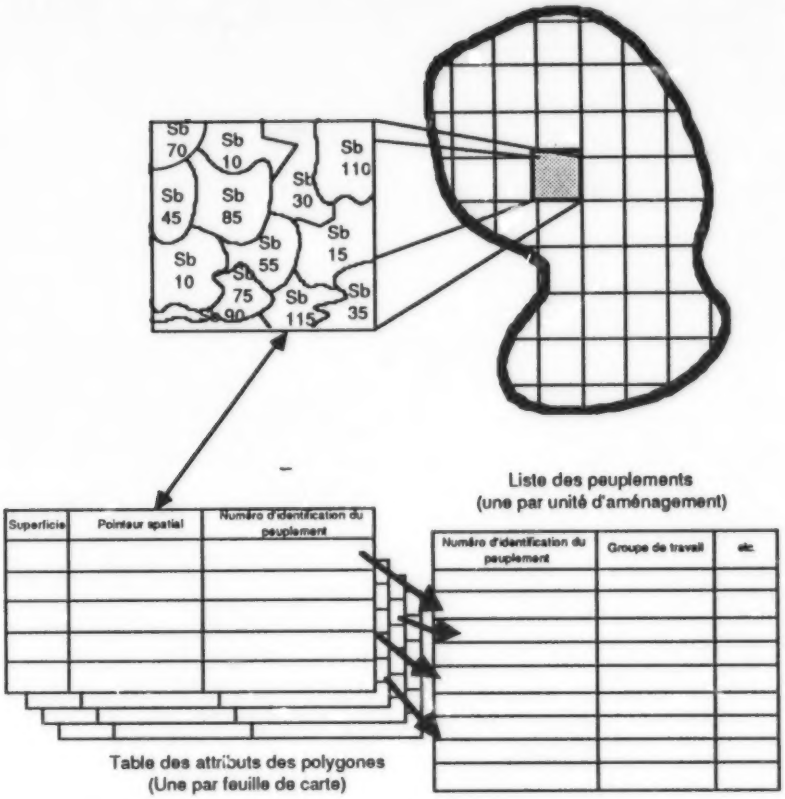


Figure 2.2 Le système de gestion de la base de données relationnelle du SIG permet d'établir un lien entre les enregistrements qui décrivent les peuplements d'une part et la description spatiale de l'emplacement de ces derniers. L'identificateur d'un peuplement est constitué du numéro de la feuille de carte et du numéro de séquence de l'enregistrement et identifie celui-ci de façon univoque dans l'unité d'aménagement forestier.

Dans la base de données du modèle, chaque peuplement forestier est constitué d'un nombre arbitraire d'espèces composantes. Chaque composante correspond à une espèce, une classe de fertilité et une classe d'âge. Le modèle permet d'établir des prévisions de croissance et de développement indépendamment pour chaque composante; il constitue donc un moyen commode et souple permettant de se servir de données empiriques pour décrire l'évolution de peuplements inéquiennes mixtes. Chaque composante est associée à une table de rendement en fonction de son espèce et de ses codes de fertilité (figure 2.3). La table de consultation est indexée en fonction de l'âge des peuplements. On multiplie la valeur extraite de la table de consultation par le coefficient de densité relative pour obtenir une estimation de la production courante de la composante. La plupart du temps, les tables de rendement décrivent l'évolution du volume commercialisable d'une certaine espèce d'arbres; elles décrivent parfois d'autres aspects de la production forestière (par exemple l'évolution des caractéristiques fauniques d'un peuplement en fonction du temps). Un peuplement peut être constitué d'un nombre arbitraire de composantes, chaque composante étant associée à sa propre courbe de rendement. En suivant la progression de ces courbes de rendement, le modèle de simulation permet de prévoir l'état des composantes.

Le modèle comporte une horloge interne qui permet de simuler le vieillissement des peuplements. Contrairement aux autres modèles, l'accroissement temporel selon lequel cette horloge progresse n'est pas fixe. À chaque étape, on doit spécifier ce paramètre. Par conséquent, on peut choisir cet accroissement temporel court pour les périodes de simulation qui concernent un avenir rapproché et long pour les périodes de simulation à long terme. Bien qu'il soit possible de garder l'accroissement temporel court et constant pour toutes les périodes de simulation, cela entraînerait plus de calculs et le modèle produirait sans doute des détails inutiles. Grâce à la variabilité de l'accroissement temporel, les planificateurs peuvent étudier en détail les incidences à court terme et établir les traits généraux du comportement à long terme. On peut par exemple, pour un seul passage du modèle de simulation, décomposer la

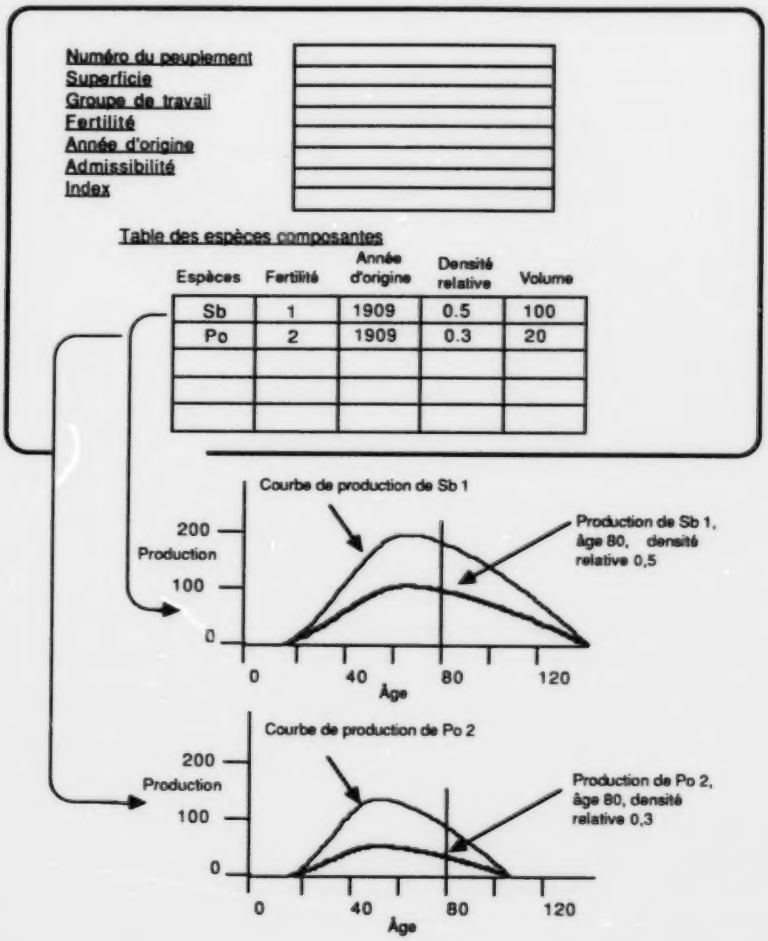


Figure 2.3 Format de la liste des peuplements. Un peuplement peut comporter un nombre illimité de composantes et à chacune de ces dernières est associée une courbe de production en fonction de l'espèce et du code de classe de fertilité. Le coefficient de densité relative de chaque composante modifie la production de cette dernière. Le format de la liste des peuplements est décrit dans le chapitre 3. Le fichier répertoire doit être converti au format de la liste des peuplements avant l'exécution du programme.

première période de cinq ans (la période de planification opérationnelle) en des étapes d'un an, la période de 15 ans suivante en trois étapes de 5 ans et la période de planification stratégique en des étapes de 10 ans.

Mise à jour de l'état des peuplements

Au début de chaque étape de traitement du modèle de simulation, celui-ci évalue l'état des enregistrements correspondant aux divers peuplements et estime les changements qui ont pu se produire depuis la dernière période. Le processus d'évaluation et de mise à jour (figure 2.4) comporte plusieurs étapes. La première étape consiste à faire vieillir la composante; la deuxième dépend de l'état et de la composition du peuplement à ce nouveau moment dans le temps. Le programme applique des règles dépendant de l'état des peuplements pour décrire les changements causés par des perturbations naturelles, par exemple la conversion du bois et la succession écologique, et également par des perturbations d'origine humaine, notamment la récolte et le traitement. Ces règles sont constituées de deux parties : une condition d'appariement et une action. La condition d'appariement définit l'ensemble des situations dans lesquelles l'action associée s'applique. Cette dernière décrit les changements à apporter à l'enregistrement correspondant à un peuplement lorsque celui-ci satisfait aux conditions spécifiées. Ainsi, on peut représenter la conversion d'un peuplement d'épinettes noires et son remplacement par régénération pré-existante au moyen d'une règle consistant à ramener l'âge d'un peuplement à 40 ans

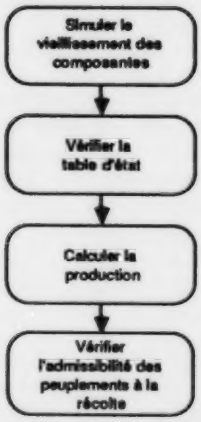


Figure 2.4 Étapes du processus de mise à jour des peuplements. Chaque peuplement est évalué par ce processus à chaque itération du programme de simulation.

lorsque celui-ci atteint l'âge de conversion anticipé (figure 2.5).

Le rendement courant est déterminé au cours de la troisième étape du processus de mise à jour. La méthode adoptée s'inspire de la méthode de la courbe de rendement pour espèces mixtes et laquelle a été élaborée par le comité technique sur l'accroissement et le rendement du bois du conseil consultatif de la recherche forestière du Nouveau-Brunswick (NBFRAC 1986). Le rendement est calculé indépendamment pour chaque composante du peuplement et on se sert de tables de rendement pour exprimer les changements apportés aux composantes en fonction du temps. La table de consultation utilisée est choisie en fonction du code d'espèce et de la classe de fertilité de la composante et les valeurs intermédiaires de la production sont obtenues par interpolation (sur l'âge de la composante). On multiplie la valeur résultante par le coefficient de densité relative de la composante et on range le résultat dans la zone «volume composante» (figure 2.3). Cette méthode présente l'avantage de faire appel à des courbes de rendement distinctes pour prévoir l'évolution de composantes constituées d'espèces diverses à l'intérieur d'un peuplement (par exemple, dans un peuplement mixte, on se sert d'une courbe pour la composante épinettes, d'une autre courbe pour la composante peupliers, etc.). On peut également étendre cette méthode aux classes de produits (par exemple, pour établir une distinction entre le rendement de fibre d'épinette et le rendement de bois d'épinette débité). Un peuplement peut être constitué d'un nombre arbitraire de composantes.

La dernière étape du processus de mise à jour consiste à effectuer sur chaque peuplement un contrôle d'admissibilité. Le fichier des conditions d'admissibilité est constitué d'enregistrements qui décrivent les périodes pendant lesquelles les peuplements ne peuvent pas être exploités (par exemple un bloc de peuplements peut être inexploitable parce qu'il n'y a pas de route d'accès, un groupe entier ou un type de peuplements peut être inexploitable pour des raisons administratives, ou un peuplement peut être réservé comme habitat faunique). On trouvera une

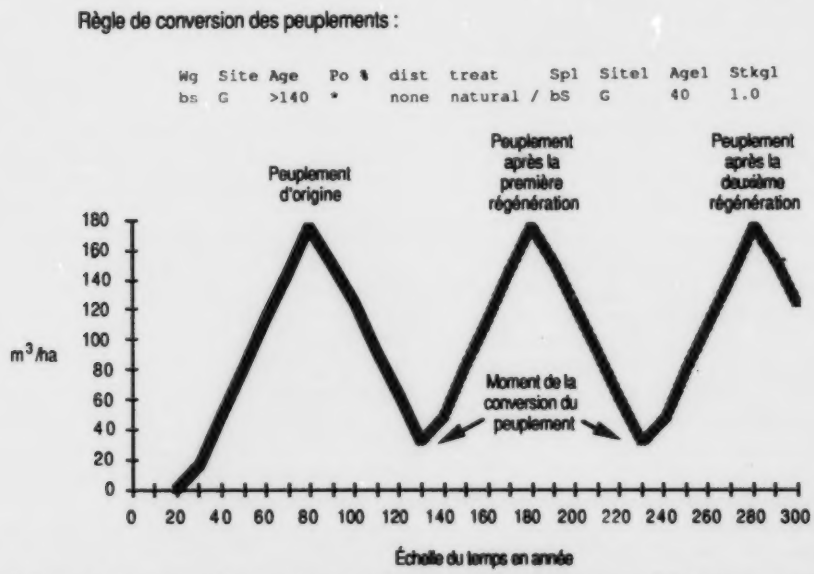


Figure 2.5 Simulation de la conversion d'un peuplement et de son remplacement par une régénération avancée. Dans cet exemple, la règle qui apparaît dans la table d'état spécifie que, après 140 ans, les peuplements constitués d'épinettes noires de classe de fertilité «G» se convertissent et sont remplacés par régénération par des épinettes noires de 40 ans. La série des conversions suivie de régénération peut être répétée indéfiniment par le programme de simulation.

description détaillée du mécanisme de contrôle d'admissibilité dans le chapitre 3. Dans le présent modèle, le fichier des conditions d'admissibilité constitue le moyen par lequel des contraintes, qui sont fonction du temps et de l'emplacement, sont appliquées aux activités de gestion. Ce mécanisme est strictement déterministe : le fichier des conditions d'admissibilité doit être constitué par le planificateur avant l'exécution du programme.

Établissement du calendrier d'exploitation

Le modèle de simulation permet de gérer le processus d'établissement du calendrier d'exploitation de deux façons. En premier lieu, le planificateur peut définir arbitrairement, de manière ad hoc, le mode d'exploitation de peuplements individuels (par exemple récolte de tous les peuplements situés le long d'une route d'accès principale). En second lieu, le type de récolte peut être choisi automatiquement par le modèle en fonction d'un ensemble de critères précisés par l'utilisateur. On peut employer ces deux méthodes séparément ou ensemble.

Le processus d'établissement du calendrier d'exploitation commence par la mise en oeuvre du calendrier de récolte imposé. Ce dernier est constitué d'une liste arbitraire de peuplements à exploiter, classée en fonction de l'année au cours de laquelle la récolte doit avoir lieu. Chaque enregistrement de cette liste contient l'identificateur du peuplement, le type de traitement à effectuer, l'année au cours de laquelle le peuplement doit être traité ainsi que d'autres données descriptives. Le processus d'établissement du calendrier d'exploitation lit les enregistrements qui correspondent à la période d'exploitation courante et sélectionne les peuplements à exploiter. Le rendement des peuplements sélectionnés est calculée et ventilée par espèce, classe de fertilité et âge. Les enregistrements correspondant aux peuplements sélectionnés sont accompagnés de la mention «récolté» et les enregistrements du calendrier sont inscrits dans le fichier calendrier. Le fichier calendrier de sortie et le fichier calendrier de l'entrée ont le même format. On peut donc facilement produire un fichier calendrier en un passage du modèle, réordonner et modifier de façon arbitraire le calendrier en fonction des contraintes d'exploitation, renvoyer en entrée le calendrier modifié au programme et observer les incidences provoquées par les changements.

Une fois que la récolte imposée a été faite, le programme choisit les peuplements en vue de leur exploitation de façon à satisfaire au quota de récolte précisé par l'utilisateur. Si le quota fixé pour la période de simulation courante est déjà atteint, le programme passe à l'étape suivante. Comme les programmes de simulation précédents, ce programme fait appel à un ensemble de critères simple pour sélectionner les peuplements en vue de leur traitement. Ces critères consistent à définir un indice numérique qui permet de classer les peuplements en fonction de leur admissibilité à l'exploitation. Pour chaque période de simulation, chaque peuplement est évalué en fonction de ces critères puis la liste des peuplements au complet est classée en fonction de l'indice numérique ainsi calculé.

Après avoir classé la liste des peuplements, le programme sélectionne le premier peuplement à exploiter. Il calcule ensuite le volume généré par l'exploitation de ce peuplement, inscrit dans le fichier calendrier un enregistrement qui décrit la récolte et met à jour l'enregistrement correspondant au peuplement pour indiquer que celui-ci a fait l'objet d'un traitement. L'algorithme calcule ensuite le volume cumulatif récolté au cours de la période de simulation. Si ce volume est inférieur au quota spécifié par l'utilisateur pour cette période, l'algorithme poursuit et sélectionne l'enregistrement suivant sur la liste.

On peut spécifier plusieurs quotas de récolte et critères de sélection pour une même période de simulation. Dans ce cas, le programme fonctionne de la façon suivante : il cumule les quotas de récolte individuels puis applique séquentiellement les critères de sélection. On peut spécifier des quotas de récolte pour la production de n'importe quelle composante ou combinaison de composantes. Ainsi, un quota qui fixe à 100 000 m^3 la récolte d'épinette noire, d'épinette blanche ou de baume est atteint lorsque le total de la récolte de ces espèces, dans n'importe quelle proportion, dépasse 100 000 m^3. On peut spécifier un nombre arbitraire de quotas de ce genre.

Les critères de sélection permettent de calculer un indice numérique pour chaque composante ou combinaison de composantes d'un peuplement. On peut parvenir à ce résultat par trois méthodes : la première est fondé sur l'âge du peuplement, la deuxième sur le rendement totale des composantes sélectionnées et la troisième sur la variation dans le rendement sur la période de dix ans suivante. Ces trois méthodes fonctionnent de façon analogue et consistent à calculer un indice numérique pour chaque peuplement, indice en fonction duquel la liste des peuplements au complet est ensuite classée. Lorsque plusieurs critères de sélection sont spécifiés, ils sont appliqués séquentiellement et conduisent à la sélection de peuplements en vue de leur récolte jusqu'à ce qu'un sous-quota, spécifié avec le critère, soit atteint. Le sous-quota précise le volume de la composante sélectionnée qui doit être récolté avant que le critère suivant entre en vigueur. Chaque fois qu'un nouveau critère de sélection est appliqué, un nouvel indice est calculé et la liste des peuplements au

complet est reclassée. Le rendement des peuplements exploités est comparée aux quotas de récolte, indépendamment des composantes spécifiées dans les critères de sélection. La récolte s'arrête lorsque tous les quotas ont été atteints, même si certains critères de sélection n'ont pas encore été appliqués. On trouvera dans le chapitre 4 une description plus détaillée du processus d'établissement du calendrier d'exploitation.

Une fois que le calendrier d'exploitation a été établi, le programme passe à la simulation des traitements sylvicoles. L'utilisateur spécifie la surface maximale de terrain qui peut être traitée annuellement à l'intérieur de la période de simulation. Les règles, qui dépendent de l'état des peuplements, décrivent les méthodes de régénération employées ainsi que l'état des peuplements après traitement. Dans la version actuelle du programme HSG, les traitements sylvicoles se limitent au renouvellement des peuplements exploités au cours de la période de simulation courante. Comme c'est le cas pour l'établissement du calendrier d'exploitation, les peuplements à traiter sont classés en fonction d'un ensemble de règles spécifiées dans la liste des traitements prioritaires. Le premier peuplement de la liste est traité, et ce processus de sélection se poursuit jusqu'à ce que la limite fixée pour la surface à traiter soit atteinte. Une fois qu'un traitement sylvicole a été simulé, un enregistrement est inscrit dans le fichier calendrier. Si la limite de surface a été atteinte, les peuplements qui restent dans la liste sont laissés sans traitement. Ces peuplements sont régénérés lors de l'itération suivante en fonction des règles de régénération naturelle de la table de transition d'état.

Résultats du programme

La dernière étape consiste à résumer les activités et les changements qui se sont produits au cours de l'itération courante. Des données récapitulatives sont écrites dans un fichier qui peut être consulté au cours de l'exécution du programme ou plus tard. Le programme consigne un important volume de données sur la composition de la forêt, les changements dans cette dernière ainsi que les incidences de la récolte. Le programme comporte des utilitaires qui permettent de subdiviser et de formater les données récapitulatives dans une forme adaptée à leur analyse et à leur présentation. Les fichiers de résultats ainsi que les programmes d'affichage sont décrits dans le chapitre 5.

Comme nous l'avons déjà mentionné, chaque passage du programme de simulation produit un ensemble de données qui décrivent le calendrier des activités de gestion élaboré par le modèle. Chaque enregistrement du fichier calendrier décrit une opération de récolte ou un traitement sylvicole et précise également l'identificateur du peuplement, l'année de l'opération considérée, le type de traitement ainsi que l'état du peuplement au moment où le traitement est effectué. Le calendrier peut être imprimé ou être traité par un autre programme (par exemple un programme de calcul du coût moyen de la récolte). En outre, on peut, au moyen du système de gestion de la base de données relationnelle, relier le fichier calendrier à un SIG et obtenir ainsi une représentation de ce calendrier sur une carte. On peut notamment produire une carte thématique «Année de récolte». On attribue à chaque période d'exploitation du plan un code chromatique, et les peuplements qui doivent faire l'objet d'une récolte au cours d'une période donnée sont représentés par la même couleur (figure 2.6). Par un examen visuel de la carte représentant le calendrier d'exploitation, on peut déceler les cas où ce dernier contrevient à des contraintes d'exploitation connues. On peut alors modifier en conséquence le calendrier (au moyen du calendrier imposé ou d'un fichier de contraintes d'exploitation), reprendre la simulation et réexaminer les résultats.

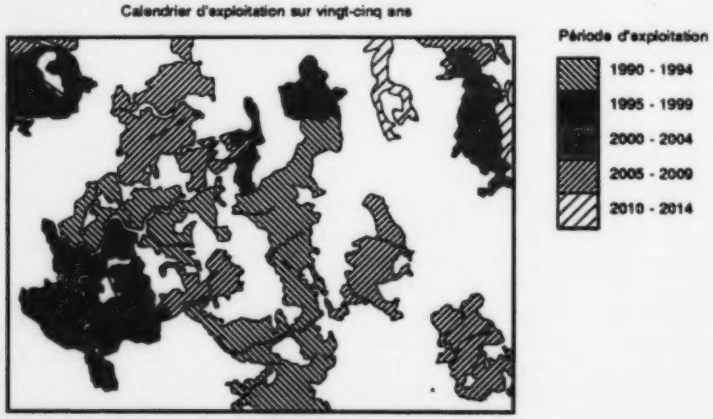


Figure 2.6 Partie d'une carte indiquant l'emplacement des activités d'aménagement simulées par le programme. Le calendrier a été établi par le programme et représenté sur une carte au moyen du SIG.

À n'importe quel moment au cours d'un passage du programme de simulation, on peut demander à ce dernier de consigner dans un fichier système l'état de sa base de données de modélisation et étudier ce fichier plus tard. Ce dernier contient une «vue instantanée» (une sélection figée) de l'état estimé de chaque peuplement forestier à ce moment. Cet instantané intègre les changements subis par la forêt en raison des activités de gestion programmées (récolte ou traitement sylvicole) ainsi que les changements causés par la croissance et le développement. Le fichier d'instantanés est conservé dans le même format que la liste des peuplements d'origine et contient le même genre de renseignements. Le fichier d'instantanés étant un fichier relationnel, peut être traité par d'autres programmes (par exemple un programme qui calcule les indices pour les habitats fauniques). Au moyen du SIG, on peut représenter sur une carte une série chronologique de fichiers d'instantanés (ou de leurs fichiers dérivés) pour obtenir une représentation visuelle des incidences des activités de gestion sur la forêt (voir la figure 2.7).

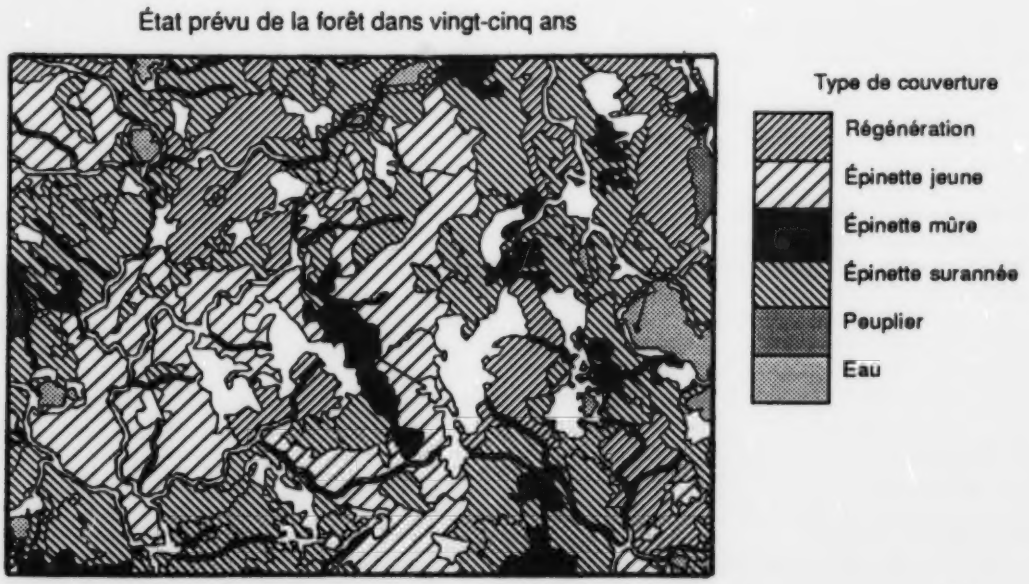


Figure 2.7 Carte «instantanée» montrant l'état de la forêt à un moment quelconque de la période de simulation. Cette carte montre l'état de la forêt après les 25 premières années du calendrier d'exploitation de la figure 2.5. Les fichiers d'instantanés sont générés par le programme et représentés au moyen du SIG.

Chapitre 3. Préparation des ensembles de données

Nous allons décrire dans le présent chapitre le format et le contenu des ensembles de données d'entrée du programme de génération de calendriers d'exploitation (programme HSG) ainsi que la marche à suivre pour la préparation de ces ensembles de données. La figure 3.1 représente un organigramme des fichiers d'entrée et de sortie utilisés à chaque étape du traitement.

Liste des peuplements

La liste des peuplements contient un enregistrement pour chaque peuplement forestier productif de la zone à l'étude. Cette liste peut éventuellement contenir d'autres enregistrements (par exemple des enregistrements qui concernent une entité autre qu'un peuplement forestier ou un peuplement forestier non productif), mais ces derniers n'influent pas sur les résultats du programme de simulation et risquent uniquement d'accroître la complexité du traitement. Chaque enregistrement associé à un peuplement doit être identifié de façon que le SIG puisse associer cet enregistrement à sa description spatiale. Chaque enregistrement de la liste des peuplements comporte une zone de 13 caractères qui contient l'identificateur du peuplement. Dans le cas de l'étude d'Iroquois Falls, l'identificateur est constitué d'un numéro de carte PTUM (Projection transversale universelle de Mercator) à neuf chiffres et d'un numéro de peuplement à quatre chiffres.

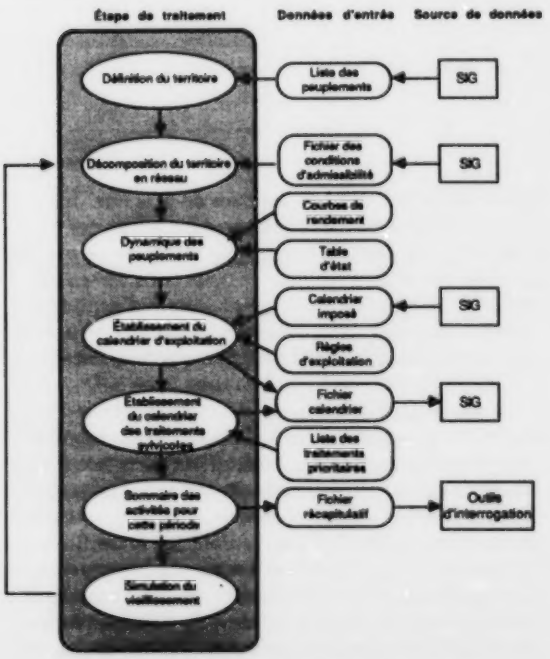


Figure 3.1 Organigramme des opérations à l'intérieur du programme HSG.

Chaque enregistrement de la liste des peuplements est constitué de deux parties. La première partie contient l'identificateur du peuplement ainsi qu'une brève description des caractéristiques générales de ce dernier. La figure 2.4 représente un enregistrement de la liste des peuplements. Le tableau 3.1 montre la description d'un enregistrement INFORMATION. La signification des diverses zones est décrite dans le tableau 3.2.

La deuxième partie de l'enregistrement contient les descriptions détaillées des composantes. Puisque le SGBD (Système de gestion de bases de données) exige que les enregistrements de la liste des peuplements soient de longueur fixe, on doit fixer une limite arbitraire au nombre de composantes. Dans la version actuelle du programme HSG, cette limite a été fixée à cinq, de sorte que les enregistrements de la liste des peuplements ont une longueur de 94 octets. Pour augmenter le nombre de composantes, il faut modifier le code source du programme HSG et le recompiler.

Tables de rendement

Le fichier des tables de rendement est constitué d'ensembles de courbes (en général établies de façon empirique) qui décrivent l'évolution des classes de composantes dans le temps. Une classe de composantes est définie par la combinaison d'un code d'espèce et d'un code de classe de fertilité. Le schéma d'évolution d'une composante est modifié en fonction d'un coefficient de densité relative (qui est consigné pour chaque composante dans l'enregistrement correspondant de la liste des peuplements). Ce coefficient accroissant ou diminuant la valeur de la production extraite de la table de consultation dans un rapport constant, la forme de la courbe d'évolution est la même que celle de la courbe originale, bien que son amplitude varie (voir la figure 2.3).

Les courbes de rendement sont conservées sous forme matricielle dans un fichier système (voir le tableau 3.3). Chaque colonne de cette matrice décrit la production d'une classe de composantes, la colonne de gauche contient la liste des âges correspondant à chaque ligne et les colonnes sont séparées par des caractères de tabulation. Ce format a été choisi en raison de la facilité avec laquelle on peut échanger des données avec un tableur pour micro-ordinateur. On peut analyser et assembler les courbes de rendement au moyen d'un tableur puis les recopier dans un

Table 3.1 Définition du fichier INFO pour la constitution de la table des peuplements. Ce dictionnaire de données du SGBD (Système de gestion des bases de données) décrit le nom de zones, leur largeur et le type de données attendues par le programme HSG. Pour de plus amples renseignements sur le format et les types de données, voir le Guide de référence INFO (Henco, 1985)

COLONNE	NOM D'ÉLÉMENT	LARGEUR	SORTIE	TYPE	N° DE DÉCIMALES	AUTRE NOM
1	STANDNUM	13	13	C	-	Nombre du peuplement
14	ST-SUF	1	1	C	-	Code - suffixe
15	AREA	2	4	B	-	Superficie en hectares
17	WG	2	2	C	-	Groupe de travail
19	SITE	2	2	C	-	Classe de fertilité
21	YEAR	2	4	B	-	Année d'origine
23	STATUS	2	2	B	-	Admissibilité à la récolte
25	DISTURB	2	2	B	-	Perturbation
27	TREAT	2	2	B	-	Code de traitement
29	DATE	2	4	B	-	Date de l'inventaire
31	WGAGE	2	2	B	-	Groupe de travail - âge
33	SPARE	2	2	B	-	Zone de réserve
35	CODE1	2	2	C	-	
37	SITE1	2	2	C	-	
39	YEAR1	2	4	B	-	
41	STKG1	2	4	B	-	
43	VOLUME1	4	3	F	0	
47	CODE2	2	2	C	-	
49	SITE2	2	2	C	-	
51	YEAR2	2	4	B	-	
53	STKG2	2	4	B	-	
55	VOLUME2	4	3	F	0	
59	CODE3	2	2	C	-	
61	SITE3	2	2	C	-	
63	YEAR3	2	4	B	-	
65	STKG3	2	4	B	-	
67	VOLUME3	4	3	F	0	
71	CODE4	2	2	C	-	
73	SITE4	2	2	C	-	
75	YEAR4	2	4	B	-	
77	STKG4	2	4	B	-	
79	VOLUME4	4	3	F	0	
83	CODE5	2	2	C	-	
85	SITE5	2	2	C	-	
87	YEAR5	2	4	B	-	
89	STKG5	2	4	B	-	
91	VOLUME5	4	3	F	0	

fichier système pour que le programme HSG puisse les exploiter.

Table d'état

La table d'état contient les règles qui modifient les descriptions des peuplements et des composantes. Chaque enregistrement du fichier table d'état décrit une règle unique composée de deux parties : une condition d'appariement et une action de spécification. Au début de chaque période de simulation, chaque enregistrement de la liste des peuplements est comparé aux règles de la table d'état. Lorsqu'il y a appariement entre une règle et un enregistrement, l'action de spécification associée à cette règle est appliquée à la description du peuplement.

Les règles de la table d'état doivent être conçues de la même manière que les courbes de rendement. Ces règles s'inspirent d'une compréhension empirique de l'évolution dans le temps des peuplements et, par conséquent, doivent être conçues en fonction des conditions locales. Tout comme dans le cas des courbes de rendement, ces règles ne tiennent compte d'aucun paramètre biologique mais constituent simplement un moyen commode et souple d'application de connaissances empiriques au processus de prévision de la croissance des peuplements forestiers.

Le tableau 3.4 donne un exemple de table d'état partielle. Le fichier est en ASCII (American Standard Code for Information Interchange) et peut être modifié au moyen d'un traitement de texte. La première ligne de la table d'état est constituée d'un enregistrement en-tête qui contient les identificateurs des colonnes; cette ligne est sautée par le programme. L'enregistrement en-tête contient une étiquette qui donne le nom de chaque colonne de données et ces dernières sont séparées par des caractères de tabulation. La condition d'appariement est séparée de l'action par le tabulateur et le caractère «/».

Table 3.2 Description des zones du fichier «Liste des peuplements»

Nom de zone	Description
STANDNUM	Numéro d'identification du peuplement à 13 caractères. Chaque peuplement doit avoir un numéro d'identification unique. Le numéro d'identification du peuplement peut être constitué par exemple du numéro de feuille de carte et du numéro de séquence du peuplement.
ST-SUF	Code-suffixe. Ce code n'est pas utilisé par le programme HSG. Il peut être utilisé par le SGBD pour décrire certaines caractéristiques du peuplement.
AREA	Superficie du peuplement en hectares.
WG	Code du groupe de travail à deux caractères alphanumériques. Ce code décrit la classe de traitement sylvicole selon laquelle le peuplement sera aménagé.
SITE	Code de classe de fertilité constitué de deux caractères alphanumériques. Ce code décrit la classe de production ou la productivité du peuplement.
YEAR	Année d'origine du peuplement. Lorsqu'on soustrait cette année de l'année de simulation on obtient l'âge du peuplemnt.
STATUS	Affectation du peuplement en ce qui concerne son admissibilité à l'exploitation. Cette zone n'est pas obligatoire. Elle est mise à jour au fur et à mesure du déroulement du programme.
DISTURBANCE	Perturbation d'aménagement qui s'est produite au cours de la période de simulation courante. Cette zone n'est pas obligatoire. Elle est mise à jour au fur et à mesure du déroulement du programme.
TREAT	Traitement sylvicole appliqué au peuplement au cours de la période de simulation courante. Cette donnée n'est pas entrée dans le programme HSG. Elle est mise à jour au fur et à mesure du déroulement du programme.
WGAGE,	Zone de réserve pour le stockage d'informations dérivées. On se sert de ces zones pour mémoriser des données dérivées générées par un SGBD. Ces données servent ensuite à la production de cartes thématiques au moyen du SIG.
CODE1,CODE2,..	Codes d'espèce constitués de deux caractères alphanumériques et décrivant le type de composante.
SITE1,SITE2,..	Code de classe de fertilité constitué de deux caractères alphanumériques.
YEAR1,YEAR2,..	Année d'origine de la composante.
STKG1,STKG2,..	Densité relative de la composante.
VOLUME1,VOLUME2..	Production calculée de la composante. Cette valeur est générée par le programme HSG de la façon suivante : le programme prend la valeur dans la table de rendement qui correspond au code d'espèce et au code de fertilité de la composante, pour un âge donné, et multiplie cette valeur par le coefficient de densité relative.

Condition d'appariement

La condition d'appariement est constituée de six zones. Une zone peut contenir une donnée ou le caractère «*». Lorsqu'une zone contient une valeur, il y a appariement uniquement pour les enregistrements dont la zone correspondante contient la même valeur. Le caractère «*» est un caractère joker qui remplace n'importe quelle valeur.

Les trois premières zones décrivent le groupe de travail, la classe de fertilité et l'âge du peuplement. On observera que le groupe de travail d'un peuplement est constitué d'un ensemble de régimes sylvicoles et qu'il est indépendant du code d'espèce qui apparaît dans la description des composantes.

La quatrième zone contient la densité relative de la composante peuplier. La condition d'appariement correspondant à cette colonne spécifie que la composition en pourcentage doit être inférieure, égale ou supérieure à une valeur donnée. Le format des opérateurs de comparaison est donné dans le tableau 3.5. Il y a appariement lorsque la zone «densité relative» de la composante peuplier satisfait à la condition spécifiée par l'opérateur. Lorsqu'un peuplement ne comporte pas de composante peuplier, on suppose implicitement que la proportion en pourcentage de cette dernière est nulle. Il s'agit là de l'un des seuls aspects du modèle HSG qui dépend des données. Lorsque le code d'espèce diffère du code «Po», le programme source doit être modifié et recompilé.

Tableau 3.3 Exemple illustrant le format du fichier des courbes de production. Chaque combinaison de code d'espèce et de code de fertilité définit la courbe de production d'une composante. La colonne de gauche indique l'âge de la composante pour laquelle les données s'appliquent. Cet ensemble de données disposé sous la forme de tableau peut facilement être importé d'un tableur pour micro-ordinateur.

Age	Sb X	Sb 1	Sb 2a	Sb 2b	Sb 3	Sw X	Sw 1
20	0	0	0	0	0	0	0
25	14	0	0	0	0	14	0
30	40	0	0	0	0	40	0
35	64	12	0	0	0	64	12
40	85	29	0	0	0	85	29
45	105	45	4	4	0	105	45
50	123	61	17	17	0	123	61
55	139	74	30	30	0	139	74
60	152	87	41	41	0	152	87
65	164	98	52	52	1	164	98
70	174	109	62	62	11	174	109
75	182	117	72	72	19	182	117
80	188	125	80	80	27	188	125
85	192	131	88	88	35	192	131
90	194	137	94	94	42	194	137
95	162	141	100	100	48	162	141
100	129	143	105	105	54	129	143
105	97	145	109	109	59	97	145
110	65	145	113	113	64	65	145
115	32	144	115	115	68	34	144
120	0	141	117	117	72	0	141
125	0	138	118	118	75	0	138
130	0	133	118	118	77	0	133
135	0	127	117	117	79	0	127
140	0	120	115	115	80	0	120
145	0	111	113	113	81	0	111
150	0	101	109	109	81	0	101
155	0	90	105	105	81	0	90
160	0	78	100	100	80	0	78
165	0	0	94	94	78	0	0
170	0	0	87	87	76	0	0
175	0	0	80	80	74	0	0
180	0	0	71	71	71	0	0
185	0	0	62	62	71	0	0
190	0	0	52	52	71	0	0
195	0	0	41	41	71	0	0
200	0	0	30	30	71	0	0

La cinquième zone contient un code de perturbation généré par le programme HSG. Chaque enregistrement associé à un peuplement comporte un code de perturbation qui peut prendre la valeur «CLEARCUT» (coupe à blanc) dans le cas où le bois vient d'être récolté ou «NONE» (aucune) autrement. Ce code permet de distinguer entre les traitements après coupe d'une part et la conversion d'un peuplement ou un changement par succession d'autre part.

La sixième et dernière zone de la condition d'appariement contient le nom du traitement auquel la règle s'applique. Cette zone contient une valeur uniquement si le code de perturbation prend la valeur «NONE». Dans le cas où le code de perturbation prend la valeur «CLEARCUT», le code de traitement et la règle s'appliquent à un traitement après la récolte. Après celle-ci, des règles appliquent un traitement de renouvellement à chaque peuplement. L'ensemble des traitements est restreint à la liste des traitements prioritaire, mais si le quota sylvicole a été dépassé, c'est le traitement «NATURAL» (renouvellement naturel) qui s'applique. Les noms de traitement qui apparaissent dans la table d'état et la liste des traitements prioritaires peuvent être constitués de n'importe quelle étiquette (jusqu'à 20 caractères de longueur) qui décrit un régime, par exemple «INTENSIVE» (traitement intensif),

Table 3.4 **Format et contenu d'une table d'état. Cette table en montre la définition pour un groupe de travail. Des définitions semblables apparaîtraient pour d'autres groupes de travail.**

Gt	Site	Âge	%Po	Perturbation	Traitement	Sp1	St1	Âge1	Stk1	Sp2	St2	Âge2	Stk2
Sb	MX	*	*	CLEARCUT	INTENSIVE /	Sb	MX	0	1.0				
Sb	X	*	*	CLEARCUT	INTENSIVE /	Sb	MX	0	1.0				
Sb	X	*	=0	CLEARCUT	BASIC /	Sb	X	0	1.0				
Sb	X	*	=0	CLEARCUT	EXTENSIVE /	Sb	X	0	0.3				
Sb	X	*	>0&<31	CLEARCUT	BASIC /	Sb	X	0	0.5	Po	1	0	0.5
Sb	X	*	>0&<31	CLEARCUT	EXTENSIVE /	Po	1	0	1.0				
Sb	X	*	>30	CLEARCUT	BASIC /	Po	1	0	0.65	Sb	X	0	0.4
Sb	X	*	>30	CLEARCUT	EXTENSIVE /	Po	1	0	1.0				
Sb	X	>120	=0	NONE	NATURAL /	Sb	X	20	0.8				
Sb	X	>120	>0&<31	NONE	NATURAL /	Sb	X	10	0.3	Po	1	15	0.7
Sb	X	>120	>30	NONE	NATURAL /	Po	1	15	0.8	Sb	X	10	0.2
Sb	1	*	*	CLEARCUT	INTENSIVE /	Sb	M1	0	1.0				
Sb	1	*	=0	CLEARCUT	BASIC /	Sb	1	0	1.0				
Sb	1	*	=0	CLEARCUT	EXTENSIVE /	Sb	1	0	0.3				
Sb	1	*	>0&<31	CLEARCUT	BASIC /	Sb	1	0	0.65	Po	2	0	0.4
Sb	1	*	>0&<31	CLEARCUT	EXTENSIVE /	Po	2	0	1.0	Sb	1	0	0.2
Sb	1	*	>30	CLEARCUT	BASIC /	Po	1	0	0.6	Sb	1	0	0.5
Sb	1	*	>30	CLEARCUT	EXTENSIVE /	Po	1	0	1.0	Sb	1	0	0.1
Sb	1	>170	=0	NONE	NATURAL /	Sb	1	20	1.0				
Sb	1	>170	>0&<31	NONE	NATURAL /	Po	1	30	0.6	Sb	1	20	0.5
Sb	1	>170	>30	NONE	NATURAL /	Po	1	40	0.8	Sb	1	20	0.3
Sb	2a	*	=0	CLEARCUT	EXTENSIVE /	Sb	2a	0	0.7				
Sb	2a	*	=0	CLEARCUT	BASIC /	Sb	2a	0	0.8				
Sb	2a	*	=0	CLEARCUT	INTENSIVE /	Sb	MA	0	1.0				
Sb	2a	*	>0	CLEARCUT	EXTENSIVE /	Po	3	20	0.7	Sb	2A	0	0.5
Sb	2a	*	>0	CLEARCUT	INTENSIVE /	Sb	MA	0	1.0				
Sb	2a	>190	=0	NONE	NATURAL /	Sb	2a	55	1.0				
Sb	2a	>190	>0	NONE	NATURAL /	Sb	2a	50	0.7	Po	3	20	0.5
Sb	2b	*	*	CLEARCUT	EXTENSIVE /	Sb	2b	0	0.8				
Sb	2b	*	*	CLEARCUT	BASIC /	Sb	2b	0	0.9				
Sb	2b	*	*	CLEARCUT	INTENSIVE /	Sb	2b	0	1.0				
Sb	2b	>220	*	NONE	NATURAL /	Sb	2b	60	1.0				
Sb	3	*	*	CLEARCUT	BASIC /	Sb	3	0	1.0				
Sb	3	>170	*	NONE	NATURAL /	Sb	3	180	*				

Tableau 3.5 Format et signification des opérateurs relationnels qui apparaissent dans la table affectation. Les opérateurs peuvent être employés uniquement avec les zones «âges» et «Po%» (pourcentage de peuplier).

Opérateur relationnel	Signification
=0	égal à 0
>0&<31	supérieur à 0 et inférieur à 31
>30	supérieur à 30
*	valeur arbitraire

«BASIC» (traitement de base) ou «NATURAL» (renouvellement naturel). Lorsque le processus de mise à jour de l'état des peuplements trouve un peuplement accompagné du code «CLEARCUT» (coupe à blanc), il cherche dans la table d'état un enregistrement dont le groupe de travail, la classe de qualité de station et le code de traitement correspondent. S'il le trouve, il applique la partie «action» de la règle.

Partie «action»

La partie «action» de la règle décrit les modifications qui doivent être apportées aux enregistrements associés aux peuplements et aux descriptions de composantes lorsqu'il y a correspondance. La partie «action» est constituée d'une suite de descriptions de composantes. Une description de composante est constituée d'un ensemble de quatre zones, ces zones étant séparées par des caractères de tabulation. On peut spécifier un nombre arbitraire de modifications de composantes et la partie «action» se termine lorsque le système arrive à la fin de l'enregistrement.

Les quatre zones de la partie «action» décrivent respectivement le code d'espèce, le code de classe de fertilité, l'âge et le coefficient de densité relative de la composante considérée. Lorsqu'il y a appariement entre une règle de la table d'état et un enregistrement associé à un peuplement, les composantes de ce dernier sont remplacées par les composantes décrites dans la partie «action». Les composantes qui apparaissent dans l'enregistrement associé au peuplement, mais non dans la partie «action» sont supprimées. Au contraire, les composantes qui apparaissent dans la partie «action», mais non dans l'enregistrement associé au peuplement sont ajustées à celui-ci. On dispose ainsi d'un mécanisme qui permet d'ajouter, de supprimer ou de modifier des descriptions de composantes.

Les zones «espèce» et «classe de fertilité» doivent contenir des valeurs pécises. Les zones «âge» et «densité relative» peuvent contenir une valeur précise où le caractère joker «*». Lorsqu'une zone contient une valeur précise, cette valeur remplace la valeur précédemment associée à la composante. Lorsque la zone «âge» ou «densité relative» contient un caractère joker, la valeur correspondante précédemment associée à la composante demeure inchangée.

Caractéristiques spéciales de la table d'état

Dans chaque règle, l'action qui s'applique à la première composante met à jour les zones «code du groupe de travail», «code de classe de fertilité» et «année d'origine» de l'enregistrement associé au peuplement. De cette façon, les peuplements possèdent toujours une composante ayant le même code d'espèce que le groupe de travail.

L'ordre dans lequel les enregistrements sont rangés dans la table d'état est important. Le programme explore la table d'état du début à la fin jusqu'à ce qu'il trouve une correspondance. Lorsqu'on se sert de codes joker, il est possible que plusieurs enregistrements dans la table d'état satisfassent aux critères de recherche spécifiés. Dans ce cas, le programme HSG arrête sa recherche au premier enregistrement de ce genre. En général, les appariements par caractère joker doivent être rangés après les appariements par valeur exacte du même type.

Pour réduire le nombre de comparaisons à effectuer, on doit placer au début de la table les enregistrements fréquemment appariés. Lors du chargement de la table, le programme crée une structure arborescente dans laquelle sont stockées les conditions d'appariement. Le groupe de travail dont la fréquence d'occurrence est la plus élevée doit être placé au début de la table, suivi du groupe dont la fréquence est immédiatement inférieure. À l'intérieur de chaque groupe de travail, les classes de fertilité sont ordonnées en commençant par celle dont la fréquence d'occurrence est la plus élevée et en terminant par celle dont la fréquence d'occurrence est la plus faible. Un programme permet de formater et d'imprimer la table d'état sous la forme d'une structure arborescente. Cette forme de présentation de la table s'avère utile pour vérifier s'il y a des erreurs dans les conditions d'appariement. Pour appeler ce programme, on se sert de la commande UNIX ci-après :

```
treemap < table_d'état > fichiersortie
```

Dans la commande ci-dessus, «table d'état» désigne le nom du fichier système attribué au fichier table d'état et «fichier sortie» désigne le nom du fichier de sortie. Ce dernier peut être imprimé au moyen d'une imprimante laser Postscript. La figure 3.2 illustre un exemple de fichier de sortie créé à partir de la description de la table d'état du tableau 3.4.

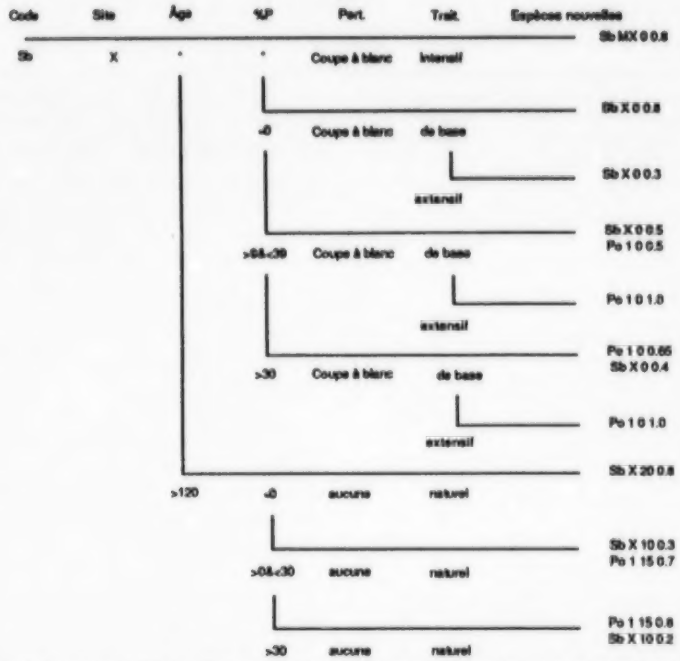


Figure 3.2 Illustration de la table d'état en tant qu'un arbre de décision. Cette figure a été générée à l'aide du programme «TREEMAP» et écrite à l'imprimante «Postscript».

Liste des traitements prioritaires

Cette liste contient un certain nombre d'enregistrements, chacun de ces enregistrements définissant un traitement qui doit être appliqué aux peuplements appartenant à un groupe de travail et à une classe de fertilité donnée. Cette liste est exploitée par l'algorithme d'établissement du calendrier des traitements sylvicoles, qui fonctionne comme suit. À l'intérieur du programme HSG, on peut fixer une limite à la surface qui peut faire l'objet annuellement de traitements sylvicoles. On peut appliquer ces derniers aux peuplements qui ont fait l'objet d'une récolte récemment pourvu que la surface totale à laquelle un traitement est appliqué ne dépasse pas cette limite. L'algorithme d'établissement du calendrier des traitements sylvicoles commence par lire la liste des traitements prioritaires; il ordonne ensuite l'ensemble des peuplements qui ont fait l'objet d'une récolte au cours de la période d'exploitation courante en fonction du groupe de travail et de la classe de fertilité. Les traitements sylvicoles sont appliqués en commençant par le peuplement qui se trouve au début de cette liste; ils se poursuivent tant que la surface de la zone traitée ne dépasse pas la limite fixée. Les zones «groupe de travail», «classe de fertilité» et «nom du traitement» sont associées à l'enregistrement correspondant dans la table d'état. Le contenu de cet enregistrement redéfinit l'enregistrement associé au peuplement ainsi que les composantes de ce dernier correspondant aux diverses espèces. Tous les peuplements qui ont fait l'objet d'une récolte au cours de la période d'exploitation et qui n'ont pas été traités se régénèrent d'après les règles de regénération naturelle de la table d'état.

Les enregistrements qui appartiennent à la liste des traitements prioritaires sont constitués de trois zones séparées par un blanc ou un caractère de tabulation. La première zone contient le code du groupe de travail, la deuxième zone le code de la classe de fertilité et la troisième zone le nom du traitement. Le tableau 3.6 donne un exemple de liste des traitements prioritaires.

Calendrier imposé

Le fichier calendrier imposé est un fichier d'entrée dont le format est semblable à celui du fichier liste des peuplements (tableau 3.7) et identique à celui du fichier calendrier de sortie. Ce calendrier définit une suite d'opérations ou de traitements sylvicoles qui doivent être appliqués par l'algorithme d'établissement du calendrier d'exploitation. Ces activités sont mises en œuvre par le programme indépendamment des quotas de récoltes ou des critères de sélection en vigueur. Au moyen du fichier calendrier imposé, on peut évaluer les incidences de suites arbitraires d'opérations de récolte et les comparer à celles d'autres suites générées arbitrairement ou par le programme.

Le fichier calendrier imposé doit être classé par année de traitement et numéro d'identification de peuplement. Le programme vérifie le fichier

Tableau 3.6 Format de la liste des traitements prioritaires et exemple. Cette liste contient un enregistrement pour chaque combinaison de groupe de travail et de classe de fertilité à traiter. Chaque enregistrement contient le nom d'un traitement qui apparaît dans la table d'affectation.

```
Sb      MX    INTENSIVE
Sb       X    INTENSIVE
Sb       1    INTENSIVE
Sb      M1    INTENSIVE
Sb       2    INTENSIVE
Sb      2a    INTENSIVE
Sb      MA    INTENSIVE
Sb      2b    BASIC
Sb       3    BASIC
Sw      MX    INTENSIVE
Sw       X    INTENSIVE
Sw       1    INTENSIVE
Sw       2    INTENSIVE
Sw      2a    INTENSIVE
Sw      2b    BASIC
Sw       3    BASIC
```

calendrier imposé à chaque étape de la simulation après la mise à jour des volumes correspondant aux composantes et avant l'application des critères d'établissement du calendrier d'exploitation. Le modèle lit les enregistrements du fichier calendrier imposé dont la date est antérieure ou égale à la date de simulation courante. Il compare ensuite les zones «groupe de travail», «classe de fertilité», «année d'origine» et «composante» aux zones correspondantes de l'enregistrement associé au peuplement portant le même numéro d'identification. En cas de non-appariement, le traitement considéré n'est pas appliqué. En cas d'appariement, l'opération de récolte ou le traitement sylvicole spécifié est mis en œuvre. Une fois que cela a été fait, le volume de bois récolté ou la surface traitée est comparé au quota ou à la limite fixé. Lors de la mise en œuvre d'une activité imposée, l'admissibilité du peuplement à l'exploitation n'est pas vérifiée.

Comme nous l'avons déjà mentionné, le format du fichier calendrier imposé est semblable à celui du fichier liste des peuplements et identique à celui du fichier calendrier de sortie. Deux méthodes permettent de générer facilement un fichier calendrier imposé. La première fait appel au SGBD et à la liste des peuplements. Le SGBD resélectionne dans la liste des peuplements les enregistrements qui décrivent les peuplements qui doivent faire l'objet d'une récolte et les recopie dans le fichier calendrier imposé. On doit remplir la zone «code du traitement» pour décrire le traitement à appliquer à chaque peuplement. On doit également mettre à jour la zone «date» pour indiquer au système le moment où le traitement doit être effectué. Un calendrier de traitements imposés créé de cette façon doit être classé par date et numéro d'identification de peuplement avant d'être envoyé en entrée au programme.

On peut également générer un fichier calendrier imposé au moyen du SGBD et d'un fichier calendrier de sortie. Dans cette méthode, on exécute tout d'abord le programme HSG pour générer un fichier calendrier, en fonction de la demande et des règles d'exploitation. On se sert du SGBD pour éditer le fichier calendrier, en modifiant la date de certains traitements sylvicoles ou opérations de récolte et éventuellement en ajoutant ou en supprimant des enregistrements. La liste doit ensuite être classée par année de traitement et numéro d'identification de peuplement.

On peut se servir d'un calendrier de traitements imposés seul ou avec les règles automatiques d'établissement du calendrier d'exploitation et du calendrier des traitements sylvicoles. Dans le premier cas, seuls les traitements spécifiés dans le fichier calendrier imposé sont mis en œuvre. Dans le deuxième cas, les règles automatiques sont appliquées après les activités définies par le calendrier et viennent compléter les quotas en vigueur. Dans le cas où ces derniers sont atteints au moyen des seules activités imposées, le programme prend fin.

Fichier des conditions d'admissibilité

Ce fichier permet de spécifier le moment où les peuplements deviennent ou redeviennent admissibles à l'exploitation. Au départ, tous les peuplements sont jugés admissibles. Le fichier des conditions d'admissibilité est lu à chaque étape du programme de simulation, lors de la mise à jour de l'état des peuplements. Les enregistrements du fichier des conditions d'admissibilité sont comparés aux enregistrements associés aux peuplements. Chaque enregistrement du fichier des conditions d'admissibilité spécifie la date où le peuplement correspondant devient admissible à l'exploitation. Un indicateur de l'enregistrement associé à chaque peuplement indique l'état de celui-ci. Lorsqu'un peuplement est marqué «inadmissible», l'algorithme d'établissement du calendrier d'exploitation le saute.

Le fichier des conditions d'admissibilité contient un enregistrement pour chaque changement d'état de l'admissibilité d'un peuplement à l'exploitation. Chaque enregistrement est constitué de deux zones : la première contient le numéro d'identification du peuplement et la deuxième l'année d'admissibilité. Lorsque la date est précédée du signe moins, le peuplement est inadmissible à l'exploitation. Lorsque la date n'est pas précédée du signe moins, le peuplement est admissible. La liste des conditions d'admissibilité doit être classée par année et numéro d'identification de peuplement.

Tableau 3.7 Renseignements nécessaires à la constitution du fichier calendrier imposé. Ce fichier est semblable à la liste des peuplements et identique au fichier calendrier de sortie. La seule différence par rapport à la liste des peuplements réside dans l'interprétation de la zone DATE. Dans ce fichier, cette zone contient l'année où le traitement doit être appliqué.

COLONNE	NOM D'ÉLÉMENT	LARGEUR	SORTIE	TYPE	NO DE DÉCIMALES	AUTRE DÉSIGNATION
1	STANDNUM	13	13	C	-	Numéro du peuplement
14	ST-SUF	1	1	C	-	Code-suffixe
15	AREA	2	4	B	-	Superficie en hectares
17	WG	2	2	C	-	Groupe de travail
19	SITE	2	2	C	-	Classe de fertilité
21	YEAR	2	4	B	-	Année d'origine
23	STATUS	2	2	B	-	Admissibilité à l'exploit
25	DISTURB	2	2	B	-	Perturbation
27	TREAT	2	2	B	-	Code du traitement
29	DATE	2	4	B	-	Date du traitement
31	WGAGE	2	2	B	-	Groupe de travail - âge
33	SPARE	2	2	B	-	Zone de réserve
35	CODE1	2	2	C	-	
37	SITE1	2	2	C	-	
39	YEAR1	2	4	B	-	
41	STKG1	2	4	B	-	
43	VOLUME1	4	3	F	0	
47	CODE2	2	2	C	-	
49	SITE2	2	2	C	-	
51	YEAR2	2	4	B	-	
53	STKG	2	4	B	-	
55	VOLUME2	4	3	F	0	
59	CODE3	2	2	C	-	
61	SITE3	2	2	C	-	
63	YEAR3	2	4	B	-	
65	STKG3	2	4	B	-	
67	VOLUME3	4	3	F	0	
71	CODE4	2	2	C	-	
73	SITE4	2	2	C	-	
75	YEAR4	2	4	B	-	
77	STKG4	2	4	B	-	
79	VOLUME4	4	3	F	0	
83	CODE5	2	2	C	-	
85	SITE5	2	2	C	-	
87	YEAR5	2	4	B	-	
89	STKG5	2	4	B	-	
91	VOLUME5	4	3	F	0	

Il n'est pas facile de travailler avec le fichier des conditions d'admissibilité, bien que le format de celui-ci soit simple. C'est pourquoi un format plus commode a été défini et un programme de conversion rédigé. Dans ce nouveau format, les enregistrements du fichier contiennent trois zones. Chaque enregistrement définit la période pendant laquelle le peuplement correspondant est inadmissible à l'exploitation. Les zones de l'enregistrement contiennent respectivement le numéro d'identification du peuplement, le début de la période d'inadmissibilité et la fin de cette même période. De cette façon, grâce à un enregistrement unique, on peut indiquer le moment où un peuplement devient inadmissible et le moment où ce même peuplement redevient admissible à l'exploitation (voir le tableau 3.8).

On peut se servir d'un SIG pour constituer un fichier décrivant les contraintes administratives. Par exemple, au moyen d'une commande de mémoire tampon, on peut identifier les peuplements à l'intérieur d'un sphère d'intérêt quelconque. À ces peuplements, on peut attribuer des enregistrements et marquer d'une période de temps pendant laquelle la récolte est interdite; on peut de cette façon créer plusieurs couches dans le SIG (voir la figure 3.3). On peut ensuite regrouper ensemble les enregistrements correspondant à ces diverses couches puis les traiter pour les convertir au format du fichier des conditions d'admissibilité. Le programme de traitement modifie automatiquement les enregistrements de façon à tenir compte des périodes d'inadmissibilité qui se chevauchent.

Tableau 3.8 Renseignements pour la constitution du fichier des contraintes d'aménagement. On peut, grâce à plusieurs couches du SIG, créer un certain nombre de fichiers de contraintes. On ajoute et on traite ensuite ces fichiers au moyen de la commande CONSTPREP.

Col	Nom d'élément	Largeur	Sortie	Type
1	STANDNUM	14	14	C
15	START-YEAR	4	4	I
19	END-YEAR	4	4	I

La commande UNIX ci-après illustre le format de la commande de prétraitement du fichier des conditions d'admissibilité :

```
constprep <contraintes >admissibilité
```

Dans l'exemple ci-dessus, «contraintes» désigne le nom du fichier constitué des fichiers d'attributs précisant la liste des périodes d'inadmissibilité. «Admissible» désigne le nom du fichier des conditions d'admissibilité résultant.

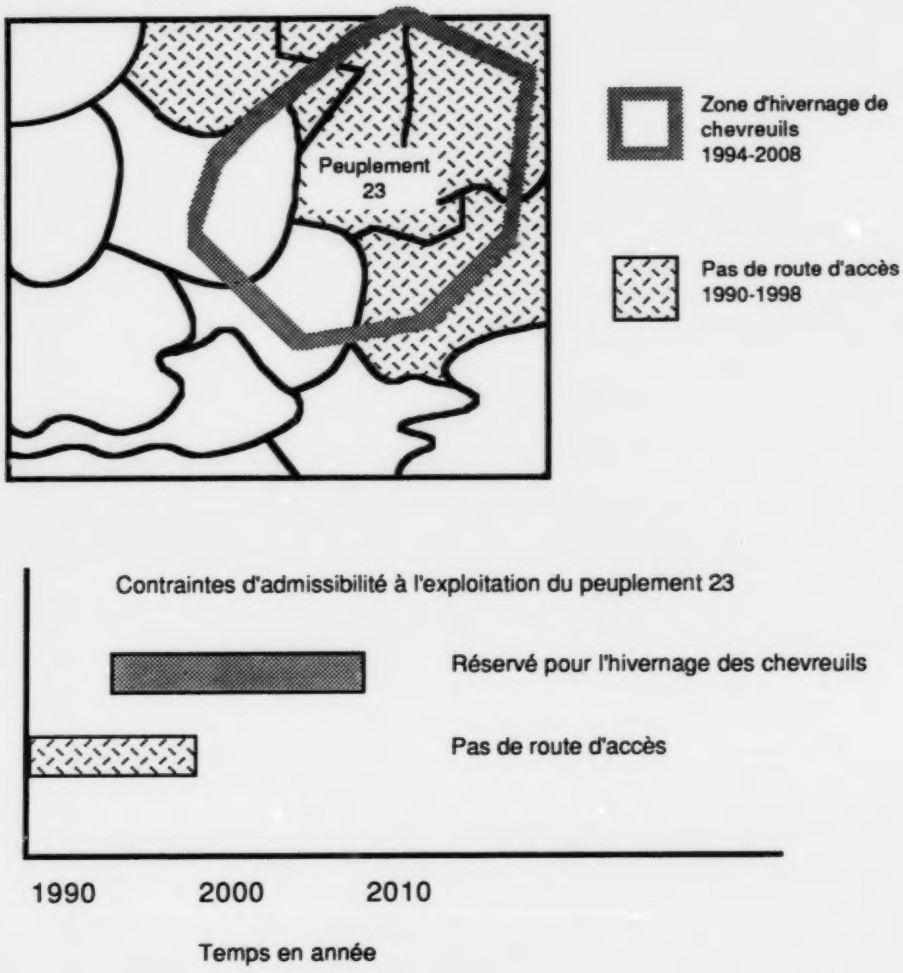


Figure 3.3 On peut se servir de plusieurs couches du SIG pour créer le fichier des conditions d'admissibilité. Les périodes où les contraintes se chevauchent sont fusionnées par le programme CONSTPREP.

Chapitre 4. Le générateur de calendriers d'exploitation

Nous allons voir dans le présent chapitre la marche à suivre pour appeler et gérer l'exécution du générateur de calendriers d'exploitation (HSG).

Appel du programme HSG

L'exécution du programme HSG est gérée par un ensemble d'instructions insérées dans un fichier de paramètres. Ce dernier est lu en même temps que le train d'entrée et, au fur et à mesure que le programme s'exécute, des messages d'information et des messages d'erreur apparaissent dans le train standard des messages d'erreur. Des données récapitulatives décrivant l'état de la forêt au cours de la simulation sont enregistrées dans le train de sortie standard. L'exemple ci-après illustre une commande UNIX qui permet d'appeler le programme HSG :

```
HSG  < paramètres >récapitulation
```

Dans l'exemple ci-dessus, «paramètres» désigne le nom du fichier des paramètres et «récapitulation» le nom du fichier récapitulatif de sortie. Le programme comporte d'autres fichiers d'entrée et de sortie. Les noms de ces fichiers sont spécifiés au moyen d'instructions insérées dans le fichier des paramètres.

Contenu du fichier des paramètres

Chaque ligne du fichier des paramètres contient une commande unique de HSG. Toutes les commandes obéissent à la règle syntaxique générale ci-après : le mot clé qui désigne la commande est justifié à gauche et tapé en majuscules. Les paramètres de la commande sont séparés par des espaces et tapés à droite du mot clé qui désigne la commande. Le fichier des paramètres peut comporter un nombre arbitraire de lignes de commande. Les opérandes numériques sont spécifiées sous la forme d'entiers ou de nombres décimaux. Toutefois, dans certains cas, un nombre décimal ne saurait avoir de sens (ainsi un intervalle de temps ne peut pas avoir de longueur fractionnaire). On doit toujours se servir de nombres entiers sauf lorsque le présent guide indique explicitement qu'on peut spécifier un nombre fractionnaire.

Le système d'exploitation UNIX faisant une distinction entre les majuscules et les minuscules dans les noms de fichiers, on doit faire très attention lorsqu'on spécifie un de ces derniers. Contrairement à d'autres systèmes d'exploitation, dans le système UNIX, a.dat et A.DAT désignent deux fichiers distincts.

Dans le fichier des paramètres, des instructions obligatoires et des instructions optionnelles spécifient le nom des fichiers d'entrée et de sortie et modifient le déroulement du programme. Le tableau 4.1 présente la liste des instructions du programme HSG. Vous trouverez dans les sections ci-après une description détaillée de ces commandes.

Tableau 4.1 Commandes reconnues par le programme HSG. Ces commandes sont énumérées dans l'ordre dans lequel elles doivent apparaître dans un fichier de paramètres

Commande	Type
TITLE	Titre descriptif optinnel
DESC	Observations optionnelles
INDEX	Fichier d'entrée optionnel
INVENTORY	Fichier d'entrée obligatoire
YIELD	Fichier d'entrée obligatoire
STATES	Fichier d'entrée obligatoire
TREATMENTS	Fichier d'entrée optionnel
CONSTRAINTS	Fichier d'entrée optionnel
MANDATORY	Fichier d'entrée optionnel
SCHEDULE	Fichier d'entrée optionnel
BEGIN	Instruction d'initialisation obligatoire
SILVA	Paramètre optionnel
OPMIN	Paramètre optionnel
STEP	Instruction d'aménagement obligatoire
SNAPSHOT	Fichier de sortie optionnel

Instructions de description

```
TITLE   ligne de texte descriptif
```

La commande TITLE (c'est-à-dire titre) est suivie d'une seule ligne d'information descriptive qui identifie le passage du programme de simulation. Tout le texte qui suit le mot clé TITLE est considéré faire partie du titre même. Bien qu'il ne soit pas utilisé par le programme HSG, l'enregistrement TITLE est recopié dans le fichier récapitulatif et on peut s'en servir pour étiqueter les résultats des programmes d'interrogation et d'affichage.

```
DESC    texte descriptif
```

Les enregistrements descriptifs constituent un moyen de décrire le but d'un passage du programme de simulation. Le fichier des paramètres peut comporter un nombre arbitraire d'enregistrements de ce type. Les enregistrements DESC ne sont pas interprétés par le programme HSG; ils sont recopiés dans le fichier récapitulatif.

Fichiers d'entrée obligatoires

```
INVENTORY     nom de fichier
YIELD         nom de fichier
STATES        nom de fichier
```

Les trois instructions ci-dessus spécifient le nom des fichiers d'entrée obligatoires. INVENTORY spécifie le nom du fichier comprenant la liste des peuplements.

YIELD spécifie le nom du fichier de données qui contient l'ensemble des courbes de rendement. STATES spécifie le nom du fichier de données qui contient la table d'état. Le format et le contenu de ces fichiers de données sont décrits dans le chapitre 3. Ces trois instructions sont obligatoires et doivent être insérées avant l'instruction BEGIN; sinon, une erreur fatale se produit. Une erreur fatale se produit également si un nom de fichier est spécifiés mais que ce fichier ne peut pas être ouvert. Aucune autre donnée ne doit apparaître sur la ligne après le nom de fichier.

L'instruction INVENTORY ne peut être spécifié qu'une seule fois, au début du passage du programme.

L'instruction YIELD peut apparaître plusieurs fois. On dispose ici d'un mécanisme qui permet de faire varier les courbes de rendement en fonction du temps (par exemple pour simuler les incidences de changements climatiques sur la production forestière) ou pour décomposer la table des courbes de rendement en plusieurs fichiers. Chaque fois qu'il rencontre l'instruction YIELD, le programme HSG charge le fichier spécifié. Les données correspondant aux combinaisons d'espèces et de classes de fertilité définies antérieurement remplacent les données existantes. Les données correspondant aux combinaisons non définies d'espèces et de classes de fertilité sont ajoutées à la base de données.

L'instruction STATES peut être spécifée plusieurs fois. Chaque fois que le programme rencontre cette instruction, il charge le fichier spécifié dans la table d'état.

Fichiers d'entrée optionnels

```
INDEX       nom de fichier
```

Le fichier INDEX est un fichier optionnel qui associe des codes numériques aux étiquettes utilisées dans la table d'état. En effet, dans cette table, les traitements sont désignés par un nom, par exemple «INTENSIVE» ou «EXTENSIVE», mais ces longues suites de caractères ne peuvent pas être insérées dans la zone de deux octets réservée à cette fin dans les fichiers de d'INSTANTANÉ (SNAPSHOT) ou CALENDRIER (SCHEDULE). Le fichier INDEX permet d'associer à ces étiquettes un code numérique ce qui peut être déjà stocké dans les fichiers de données.

Le fichier INDEX est un fichier ASCII qui peut être édité au moyen d'un traitement de texte. Chaque ligne du fichier spécifie un triplet type-nom-numéro. Le fichier est structuré en trois colonnes séparées par des caractères de tabulation. La première colonne contient le nom de la zone à laquelle la conversion doit être appliquée et ne peut prendre que les valeurs «disturb» ou «treat». Dans le premier cas, l'enregistrement concerne une étiquette qui apparaît dans la zone «perturbation» (disturbance) de la table d'état; dans le deuxième cas, l'enregistrement concerne une étiquette qui apparaît dans la zone «traitement» (treatment) de la table d'état. La deuxième colonne contient l'étiquette et la troisième le code numérique. La figure 4.2 montre un exemple de fichier index.

Lorsque l'utilisateur ne définit pas lui-même le fichier INDEX, le programme HSG convertit automatiquement les étiquettes en codes numériques. Toutefois, cette conversion s'effectue de façon arbitraire et vous ne pouvez pas connaître la signification des codes.

```
CONSTRAINTS    nom de fichier
TREATMENTS     nom de fichier
MANDATORY      nom de fichier
```

Les trois instructions ci-dessus spécifient le nom des fichiers d'entrée optionnels. CONSTRAINTS (contrainte) spécifie le nom du fichier des conditions d'admissibilité. TREATMENTS (traitements) spécifie le nom de la liste des traitements prioritaires. MANDATORY (obligatiore)spécifie le nom du calendrier des traitements imposés. Le format et le contenu de ces fichiers de données sont décrits dans le chapitre 3. Dans les exemples ci-dessus, «nom de fichier» doit être remplacé par le nom de fichier système approprié et aucune valeur par défaut n'est autorisée. Ces trois commandes sont optionnelles. Les instructions CONSTRAINTS et MANDATORY ne peuvent apparaître qu'une seule fois et doivent être insérées avant l'instruction BEGIN (début). L'instruction TREATMENTS peut être donnée autant de fois que l'on veut, n'importe où dans le fichier des paramètres. Chaque fois que le programme rencontre l'instruction TREATMENTS, il charge une nouvelle liste de traitements prioritaires.

Nota bene: Lorsqu'un nom de fichier d'entrée est spécifié, mais que ce fichier ne peut pas être ouvert, il se produit une erreur fatale.

Fichiers de sortie optionnels

```
SCHEDULE   nom de fichier
```

L'instruction SCHEDULE (calendrier) gère l'enregistrement du calendrier d'exploitation et, sans cette instruction, le programme HSG ne peut pas générer de fichier calendrier. Le paramètre «nom de fichier» est optionnel. Si un nom de fichier est spécifié, le programme HSG commence à enregistrer le calendrier dans le fichier système en question. Si aucun nom de fichier n'est spécifié, le programme HSG arrête d'enregistrer le calendrier d'exploitation. Le format et le contenu du fichier calendrier sont

décrits dans le chapitre 5. L'instruction SCHEDULE peut être donnée plusieurs fois dans le fichier des paramètres. Chaque fois qu'il rencontre cette commande, le programme redirige les résultats vers le fichier dont le nom a été spécifié.

Nota bene: L'instruction SCHEDULE permet d'activer ou d'arrêter l'enregistrement des traitements. Le fichier calendrier peut contenir un grand nombre d'enregistrements. Pour économiser l'espace disque, on peut arrêter l'enregistrement des données pendant les périodes de temps où il n'est pas utile de connaître le contenu du calendrier.

`SNAPSHOT nom de fichier`

L'instruction SNAPSHOT (vue instantanée) permet d'effectuer une sélection et mise de côté de la base de données de modélisation. Le format et le contenu du fichier SNAPSHOT sont décrits dans le chapitre 5. L'instruction SNAPSHOT est optionnelle et peut apparaître plusieurs fois dans le fichier des paramètres. L'instruction SNAPSHOT ne doit pas précéder l'instruction BEGIN. La position de la commande SNAPSHOT par rapport à l'instruction STEP fixe le moment au cours de la simulation où le fichier d'instantané (SNAPSHOT) est créé. La commande SNAPSHOT peut apparaître plusieurs fois dans le fichier des paramètres, auquel cas plusieurs sélection de la base de données de modélisation sont effectuées. Le paramètre «nom de fichier» est optionnel. Lorsqu'il est précisé, il fournit au système le nom du fichier dans lequel les données sont stockées. Dans le cas contraire, un nom de la forme «snapYYYY» est attribué au fichier, où «YYYY» désigne la dernière année de la période de simulation courante. Lorsqu'une sélection est effectuée avant la première étape du programme de simulation, c'est la copie du répertoire mis à jour au début de la période de simulation qui est sélectionné.

Nota bene: Les fichiers d'instantané ont la même taille que les fichiers répertoires d'entrée et une utilisation fréquente de la commande SNAPSHOT risque d'employer une bonne partie de la mémoire disque.

Commande d'initialisation

`BEGIN date`

L'instruction BEGIN (début) sert à deux fins. Tout d'abord, elle permet de préciser la première année de la période de simulation. Les enregistrements correspondant aux peuplements sont mis à jour à cette date avant le début du programme de simulation. Toutes les étapes de ce dernier sont référencées par cette date avant le début du programme de simulation. Toutes les étapes de ce dernier sont référencées par rapport à cette date initiale. La date doit être un entier. Il s'agit en général de l'année du début de la simulation.

L'instruction BEGIN a également pour fonction d'initialiser la base de données de modélisation du programme HSG. L'instruction obligatoire INVENTORY et l'instruction optionnelle MANDATORY doivent précéder l'instruction BEGIN. Lorsque les fichiers spécifiés ne peuvent pas être ouverts, le programme génère un message d'erreur et s'arrête.

Commandes qui influent sur le temps d'exécution du programme

Les commandes ci-après modifient le temps d'exécution du programme HSG.

`SILVA valeur`

L'instruction SILVA est optionnelle. La valeur, lorsqu'il y en a une, spécifie la surface maximale à laquelle on peut faire subir annuellement un traitement sylvicole. Les traitements sylvicoles sont définis dans la liste des traitements prioritaires et dans la table d'état. La valeur en question est exprimée en hectares. Si vous ne voulez pas limiter la superficie traitable, spécifiez un nombre arbitrairement grand. En l'absence de l'instruction SILVA ou lorsque la limite est dépassée au cours d'une période de simulation, les peuplements qui font l'objet d'une récolte se régénèrent uniquement d'après les règles de régénération naturelle spécifiées dans la table d'état.

Nota bene: Lorsqu'aucune règle de régénération naturelle n'est définie dans la table d'état, les peuplements ne se régénèrent plus après la récolte une fois que la limite spécifiée par l'instruction SILVA a été dépassée.

`OPMIN valeur`

L'instruction OPMIN spécifie le volume exploitable minimum calculé par les programmes de calcul de la production. L'instruction OPMIN est optionnelle. En l'absence de cette instruction, le volume exploitable n'est soumis à aucune limite minimum. Lorsqu'une valeur est spécifiée, la somme des productions correspondant à toutes les composantes d'un peuplement forestier donné doit être supérieure à cette valeur, sinon la production de ces composantes est considérée comme nulle. La valeur en question est un nombre décimal exprimé sous la forme d'un nombre de mètres cubes par hectare.

Nota bene: Tous les volumes consignés dans la base de données sont considérés comme des volumes exploitables. Une modification apportée à la valeur de OPMIN risque de se répercuter sur les volumes consignés dans le fichier récapitulatif, le fichier calendrier et les fichiers de vidage.

STEP longueur de la période : quotas de récolte : règles

C'est essentiellement l'instruction STEP qui dirige l'exécution du programme de simulation. Chaque occurrence de l'instruction STEP permet la simulation par le programme HSG de l'exploitation, du traitement sylvicole et de la croissance de peuplements forestiers pendant une période de simulation donnée. L'instruction STEP spécifie la longueur de la période de simulation, le volume de bois que le programme doit tenter de récolter chaque année ainsi que les règles appliquées par l'algorithme d'établissement du calendrier d'exploitation. Comme vous pouvez le voir dans l'exemple ci-dessus, ces trois éléments sont spécifiés sur la même ligne que la commande STEP, séparés par le symbole «:». Vous trouverez dans les paragraphes qui suivent une description détaillée de ces trois éléments.

La longueur de la période de simulation est un entier. Cet entier est ajouté à la dernière année de la période de simulation précédente et détermine la dernière année de la période de simulation courante. La base des données de modélisation est mise à jour en fonction de la croissance prévue des peuplements pendant la dernière année de la période courante. On multiplie les volumes et les limites annuels par la longueur de la période pour déterminer la valeur de ces paramètres pour cette même période et la dernière année de celle-ci est celle où les traitements et les activités prévus pour la période de simulation sont mis en œuvre.

Nota bene: En ayant recours à des périodes plus courtes, on améliore la qualité des résultats obtenus par le modèle. Toutefois, en accroissant le nombre d'étapes, on accroît également le temps de traitement nécessaire pour couvrir la même période de simulation.

Le deuxième groupe de paramètres de l'instruction STEP est constitué des quotas de récolte. Ces derniers spécifient la quantité de bois dont le modèle doit simuler la récolte au cours de la période de simulation courante. On peut spécifier plusieurs quotas, et un même quota peut s'appliquer à plusieurs espèces. Voici la règle syntaxique générale de spécification des quotas d'exploitation :

```
espèce=volume, espèce/espèce=volume

Exemple : Sb/Sw=85000, Po=30000
```

Dans l'exemple ci-dessus, l'espèce est représentée par un code alphanumérique qui correspond à un code de composante dans la base des données de modélisation. Le volume est un nombre décimal exprimé par le nombre d'unités de la production annuelle de la composante considérée (en général en mètres cubes par année). Lorsqu'il y a plusieurs quotas, ils doivent être séparés par des virgules. Lorsqu'il y a plusieurs codes d'espèce, ils doivent être séparés par une barre oblique «/». Dans ce dernier cas, on considère que le quota spécifié est atteint lorsque la récolte totale des espèces considérées atteint ce chiffre, indépendamment de la proportion; un exemple est donné à la fin du chapitre. On peut spécifier un nombre arbitraire de codes d'espèce ou de quotas.

Le troisième groupe de paramètres de l'instruction STEP spécifie les règles appliquées par l'algorithme d'établissement du calendrier d'exploitation pour classer les peuplements par ordre de priorité de récolte. Lorsqu'il y a plusieurs règles, elles sont appliquées séquentiellement jusqu'à ce que tous les quotas d'exploitation définis pour la période de simulation considérée aient été atteints. Chaque règle est accompagnée d'un sous-quota et demeure en vigueur tant que ce dernier n'a pas été atteint. Voici la règle syntaxique générale de spécifications des quotas de récolte :

```
cas-espèce=sous-quota (volmin), cas-
espèce/espèce=sous-quota

Exemple : 2-Sb/Sw=85000(80), 2-Po=30000
```

Comme on peut le voir dans l'exemple ci-dessus, les règles, lorsqu'il y en a plusieurs, sont séparées par une virgule et les codes d'espèce sont séparés par une barre oblique «/». L'algorithme d'établissement du calendrier d'exploitation comporte diverses variantes. La première partie de la règle décrit le cas qui s'applique. Actuellement, le programme HSG prend en compte trois cas de figure. Chacun de ces cas est décrit dans les paragraphes ci-après.

Dans le cas 0, les peuplements sont exploités en fonction de leur âge (le plus ancien en premier). Seuls les peuplements qui appartiennent aux groupes de travail spécifiés dans la liste des codes d'espèce sont exploités et la liste des peuplements est classée par ordre d'âge décroissant. Les peuplements sont exploités en commençant par le début de la liste jusqu'à ce que tous les quotas de récolte aient été atteints, que le sous-quota spécifié ait été atteint ou que la liste des peuplements soit épuisée. Dans le

cas 0, le sous-quota fixe la surface maximale (en hectares) à exploiter dans les groupes de travail spécifiés par la règle considérée.

Dans le cas 1, les peuplements sont sélectionnés pour l'exploitation en fonction de la règle du «volume courant le plus élevé». Pour chaque peuplement, le programme calcule le volume exploitable des composantes qui apparaissent dans la liste des codes d'espèce. La liste des peuplements est ensuite classée par ordre décroissant de volume. Les peuplements sont exploités en commençant par le début de la liste jusqu'à ce que les quotas de récolte aient été satisfaits, que le sous-quota spécifié ait été atteint ou que la liste des peuplements soit épuisée. Dans le cas 1, le sous-quota spécifie le volume maximal de bois à récolter dans les composantes spécifiées par la règle considérée.

Dans le cas 2, les peuplements sont sélectionnés pour la récolte d'après la règle de la «perte de volume minimale». Le programme calcule un indice numérique en fonction des variations dans le volume qu'il prévoit se produire au cours de la décennie suivante. Seuls les volumes des composantes qui apparaissent dans la liste des espèces spécifiées par la règle d'exploitation sont calculés. La liste des peuplements est classée par ordre croissant de variation de volume. Les peuplements sont exploités en commençant par le début de la liste jusqu'à ce que les quotas de récolte aient été atteints, que le sous-quota spécifié soit atteint ou que la liste des peuplements soit épuisée. Dans le cas 2, le sous-quota spécifie le volume maximal qui doit être récolté dans les composantes spécifiées par la règle considérée.

Le paramètre «volmin» est optionnel et spécifie la production moyenne minimale que doit avoir un peuplement pour qu'il puisse être exploité. «Volmin» est un nombre décimal qui représente le volume minimum exploitable de l'espèce considérée. Un peuplement dont la production de bois de cette espèce est inférieure à la valeur spécifiée est inadmissible à l'exploitation. Lorsque ce paramètre n'est pas spécifié, aucun volume minimal exploitable ne s'applique.

Exemple expliqué d'un fichier de paramètres

La figure 4.1 présente un exemple de fichier de paramètres visant à clarifier l'utilisation des instructions du programme HSG. Nous allons décrire dans la section ci-après la fonction de certaines des instructions qui apparaissent dans cet exemple.

Les six premières lignes du fichier décrivent le but du passage de simulation. Le contenu de ces lignes est enregistré dans le fichier récapitulatif.

Les lignes 7 à 12 du fichier de l'exemple spécifient les noms des fichiers obligatoires et des fichiers optionnels.

La ligne 13 contient l'instruction BEGIN qui spécifie que la période de simulation commence en 1989. Au moment du chargement du fichier répertoire, les volumes correspondant aux divers peuplements sont mis à jour à cette année.

L'instruction OPMIN de la ligne 14 spécifie que le volume minimum exploitable doit être de 40 m^3 par hectare. On considère que les composantes de tous les peuplements dont la production totale est inférieure à 40 m^3 par hectare ont une production nulle. Cette valeur entre dans le calcul du total du matériel sur pied exploitable et peut également influer sur l'algorithme d'établissement du calendrier d'exploitation, qui saute les peuplements dont le volume est nul.

L'instruction SILVA de la ligne 15 spécifie que la surface à laquelle on peut appliquer annuellement des traitements sylvicoles est de 1 000 000 d'hectares. Cette valeur élevée permet la mise en œuvre par le programme de traitements sylvicoles partout où c'est possible. Les instructions OPMIN et SILVA ne doivent être données qu'une seule fois. Elles demeurent en vigueur pour toute la durée de la simulation ou jusqu'à ce qu'on les modifie.

La ligne 16 contient la première instruction STEP. Cette instruction spécifie que la première période de simulation a une longueur de 5 ans. Elle spécifie également que le programme doit tenter de récolter un volume annuel de 85 000 m^3 dans une combinaison des composantes Sb et Sw du peuplement. Sur une période de cinq ans, la récolte est donc de 425 000 m^3. Deux règles d'exploitation sont spécifiées; les deux exigent que le programme récolte en premier les peuplements dont le volume exploitable combiné des composantes Sb et Sw décroît le plus rapidement (ou croît le plus lentement). D'après la première règle, le programme tente de récolter 10 000 m^3 par année dans les peuplements qui contiennent au moins 100 m^3 par hectare de l'espèce considérée. Après la récolte de 50 000 m^3 (10 000 m^3 par année sur une période de cinq ans), ou après épuisement de la liste des peuplements, le programme applique la deuxième règle. Cette dernière comporte des restrictions moins sévères sur le volume exploitable minimum et tente de sélectionner suffisamment de peuplements pour l'exploitation pour atteindre le quota de récolte.

Les lignes 17 et 18 reprennent la même stratégie de gestion pour deux autres périodes de simulation de cinq ans.

La quatrième instruction STEP (ligne 19) régit la quatrième période de simulation. Cette dernière est également de cinq ans et s'étend de la 15^{e} à la 20^{e} année. Au cours de cette période de cinq ans, une nouvelle règle et un nouveau quota de récolte s'appliquent dans le cas du peuplier. Le deuxième quota d'exploitation est fixé à au moins 20 000 m^{3} par année de Po ou Pb. La deuxième règle spécifie que, si le quota pour le peuplier n'est pas atteint après application de la première règle, le programme doit classer la liste des peuplements par volume décroissant de peuplier et faire la récolte jusqu'à ce que le quota soit atteint. Cette règle est également en vigueur pendant la cinquième période de simulation (ligne 20).

Après la cinquième période de simulation, la base de données de modélisation est vidée dans un fichier système (ligne 21). La ligne 22 indique au programme HSG de cesser l'enregistrement du calendrier des traitements.

La ligne 23 contient la cinquième instruction STEP (période de cinq ans). À la fin de cette période, 30 années se sont écoulées. Les cinq périodes de simulation suivantes couvrent chacune un intervalle de dix ans. À la fin de la dernière période (ligne 28), l'horloge du programme de simulation a été incrémentée au total de 80 ans.

Le fichier récapitulatif créé lors de ce passage du programme contient les résultats correspondant aux onze périodes de simulation. Les six premières périodes sont de cinq ans, les cinq suivantes de dix ans. Le fichier calendrier créé par ce passage du programme contient le calendrier de la récolte et des traitements sylvicoles, peuplement par peuplement, pour les 25 premières années de la période de simulation. Ce calendrier ne s'étend pas au-delà de cette période de 25 ans.

```
 1  TITLE Run number 1. Test maximum sustainable yield
 2  DESC
 3  DESC This simulation run is one of a series of runs
 4  DESC used to estimate maximum sustainable yield on the
 5  DESC test forest dataset.
 6  DESC
 7  INVENTORY      /usr/forest/stand.dat
 8  YIELD  /usr/forest/yield.dat
 9  STATES /usr/forest/state_tables
10  TREATMENTS     /usr/forest/treatments
11  CONSTRAINTS    /usr/forest/access_constraints
12  SCHEDULE       /usr/scenarios/run1/schedule
13  BEGIN  1989
14  OPMIN 40
15  SILVA 1000000
16  STEP 5 : Sb/Sw=85000 : 2-Sb/Sw=10000(80),2-Sb/Sw=85000
17  STEP 5 : Sb/Sw=85000 : 2-Sb/Sw=10000(80),2-Sb/Sw=85000
18  STEP 5 : Sb/Sw=85000 : 2-Sb/Sw=10000(80),2-Sb/Sw=85000
19  STEP 5 : Sb/Sw=85000,Po/Pb=20000:2-Sb/Sw=85000,2-Po/Pb=20000
20  STEP 5 : Sb/Sw=85000,Po/Pb=20000:2-Sb/Sw=85000,2-Po/Pb=20000
21  SNAPSHOT /usr/scenarios/run1/snap2013
22  SCHEDULE
23  STEP 5 : Sb/Sw=85000,Po/Pb=20000:2-Sb/Sw=85000,2-Po/Pb=20000
24  STEP 10 : Sb/Sw=Sw=85000,Po/Pb=20000:2-Sb/Sw=85000,2-Po/Pb=20000
25  STEP 10 : Sb/Sw=Sw=85000,Po/Pb=20000:2-Sb/Sw=85000,2-Po/Pb=20000
26  STEP 10 : Sb/Sw=Sw=85000,Po/Pb=20000:2-Sb/Sw=85000,2-Po/Pb=20000
27  STEP 10 : Sb/Sw=Sw=85000,Po/Pb=20000:2-Sb/Sw=85000,2-Po/Pb=20000
28  STEP 10 : Sb/Sw=Sw=85000,Po/Pb=20000:2-Sb/Sw=85000,2-Po/Pb=20000
```

Figure 4.1 Exemple de fichier de paramètres. Quelques unes de ces commandes sont décrites dans le texte.

trait.	naturel	0
trait.	extensif	1
trait.	de base	2
trait.	intensif	3
trait.	élite	4
perturb.	aucune	0
perturb.	coupe à blanc	1

Figure 4.2. Exemple de fichier d'index montrant les triplets type-nom-numéro.

Chapitre 5. Analyse et affichage des résultats

Nous allons décrire dans le présent chapitre les ensembles de données de sortie générés par le programme ainsi que les méthodes d'interprétation et d'affichage des fichiers de résultats. Le modèle ne produit pas de rapport formaté des résultats de la simulation; à la place, il génère trois fichiers de données (un fichier récapitulatif, un fichier calendrier et un fichier de vidage). Ces fichiers de données doivent être formatés et manipulés au moyen de divers programmes qui ont été rédigés à cette fin.

Données récapitulatives

Le programme HSG produit, à chaque passage, des données récapitulatives «générales et détaillées». Pour la production des données récapitulatives, tous les peuplements sont regroupés ensemble indépendamment de leur situation géographique. Toutefois, les données sont ventilées selon un grand nombre de catégories de type de forêt et d'état, ce qui permet d'obtenir beaucoup de détails sur la situation générale de la forêt.

Voici les quatre principales catégories de données dans le fichier récapitulatif : accroissement, mortalité, matériel sur pied exploitable et surface du peuplement (voir la figure 5.1). Chacune de ces catégories est subdivisée en sous-catégories : forêts non classées, classées et récoltées. Le programme entre dans la catégorie «récoltée» la surface du peuplement exploité au cours de la période de simulation courante ou le volume exploitable produit par la récolte. Il entre dans la sous-catégorie «classée» la zone forestière marquée comme inadmissible au traitement au cours de la période courante ou le volume de matériel sur pied exploitable dans cette zone. Il entre enfin dans la sous-catégorie «non classée» les zones des peuple ments forestiers qui n'ont pas été exploitées ou marquées comme inadmissibles à l'exploitation au cours de la période courante ainsi que le matériel sur pied exploitable dans ces zones.

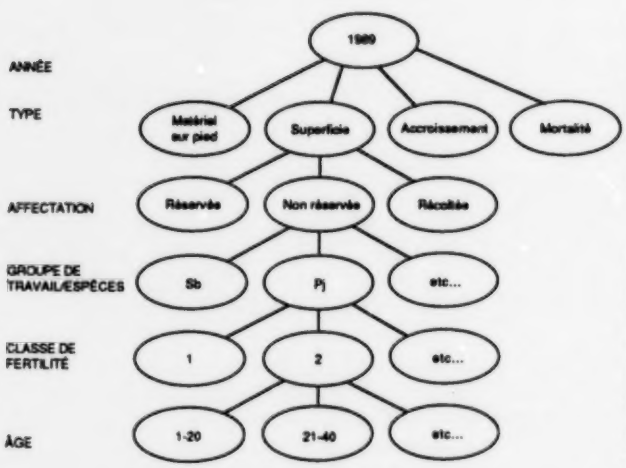


Figure 5.1 Catégories de données récapitulatives. Les données récapitulatives sont subdivisées selon les catégories ci-dessus. Pour plus de clarté, nous avons représenté une seule branche de l'arbre, mais tous le types et toutes les affectations sont subdivisés en fonction de l'espèce, de la classe de fertilité et de la classe d'âge.

Chacune des sous-catégories ci-dessus est ventilée en fonction du groupe de travail, de la classe de fertilité et de la classe d'âge. Cette hiérarchie des catégories est définie dans le code source du programme HSG. Pour modifier cette hiérarchie, il faut réécrire et recompiler le programme HSG. Toutefois, à l'intérieur de chaque sous-catégorie, des classes sont définies en fonction des codes de groupe de travail, d'espèce et de classe de fertilité qui apparaissent dans le fichier répertoire. De nouvelles divisions en fonction de l'espèce et de la classe de fertilité sont constituées au fur et à mesure que le programme rencontre les codes correspondants dans le fichier. En ce sens, le modèle est indépendant des données d'entrée et il n'est pas nécessaire de modifier le code source pour tenir compte d'une nouvelle ventilation en fonction des espèces ou de la classe de fertilité.

La première information qui apparaît dans le fichier récapitulatif est la période à laquelle les données récapitulatives s'appliquent. Un ensemble de données récapitulatives est produit pour chaque période de simulation. Ainsi, le fichier récapitulatif correspondant à un passage du programme de simulation portant sur dix périodes contient dix ensembles de données.

Les données récapitulatives sont exprimées dans le système d'unités approprié. L'accroissement et la mortalité sont exprimés en nombre moyen de m^3 par année pour la période représentée. Le volume du matériel sur pied classé et non classé est exprimé en nombre total de m^3 à la fin de la période une fois les effets de la récolte simulés. Le matériel sur pied récolté est exprimé en nombre moyen de m^3 par année pour la période représentée. Toutes les surfaces sont exprimées en hectares.

Le format interne du fichier récapitulatif a été conçu en vue de la portabilité et de l'efficacité ainsi que pour conférer de la souplesse au processus d'extraction des données. Le fichier contient un

enregistrement pour chacune des sous-divisions du niveau inférieur. Ce fichier contient donc un grand nombre d'enregistrements par sommaire périodique. Chaque enregistrement est constitué de deux parties : la première contient des données sur la catégorie, la deuxième la valeur numérique correspondante.

Bien que le fichier récapitulatif soit constitué intégralement de caractères ASCII, l'interprétation visuelle des données brutes s'avère difficile. Toutefois, plusieurs utilitaires ont été développés dans le but de permettre le formatage de ces ensembles de données. Les programmes ont été conçus de façon à pouvoir fonctionner de manière complémentaire : on peut envoyer la sortie d'un programme en entrée au suivant (voir la figure 5.2). Le format des fichiers d'entrée de ces programmes est le même et ces derniers peuvent être reliés entre eux de diverses façons. Nous allons décrire dans les paragraphes qui suivent la fonction de ces divers programmes.

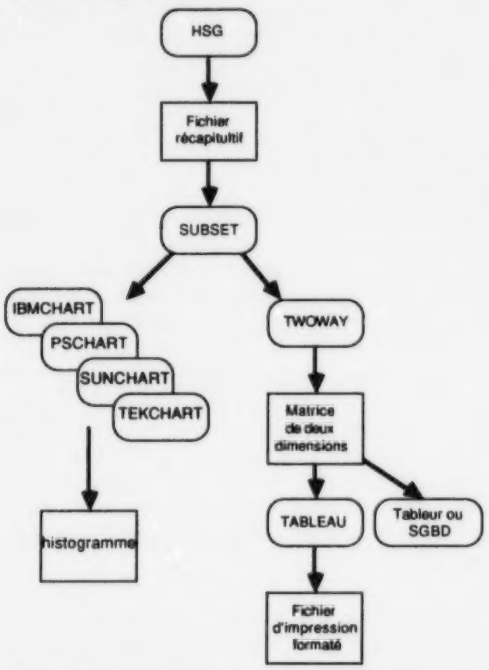


Figure 5.2 Programmes de sélection et d'affichage des résultats produits par le programme HSG. Les résultats d'un programme sont envoyés comme données d'entrée à l'étape suivante.

SUBSET

Syntaxe : `subset -i «requête» récapitulatif sous-fichier`

Le programme subset permet d'extraire d'un fichier récapitulatif un sous-ensemble de données. Ce programme fonctionne comme un filtre : il lit le fichier récapitulatif qui lui est donné en entrée et écrit en sortie un fichier dans le même format. La ligne de commande présentée au programme doit comporter une «requête» qui spécifie les critères de sélection des données. Dans l'exemple ci-dessus, «récapitulatif» désigne le nom du fichier d'entrée et «sous-fichier» le nom du fichier de sortie.

Le format des requêtes est régi par les règles ci-après :

1) Les clauses composées sont séparées par le symbole «:».

2) Chaque clause est constituée d'un type de catégorie unique et, éventuellement, d'un ou de plusieurs codes de données.

3) Lorsqu'il y a plusieurs codes de données, les deux parties doivent être séparées par un opérateur de comparaison. Les opérateurs de comparaison ci-après sont autorisés : «=» égal à ; «<» inférieur à; «>» supérieur à ; «^» différent de.

4) Lorsqu'une clause comporte plusieurs codes de données, ceux-ci doivent être séparés par un opérateur d'association. Les deux opérateurs ci-après sont autorisés : «/» ou; «+» et. Les codes reliés entre eux par l'opérateur «ou» génèrent des sous-ensembles distincts dans le fichier de sortie. Les codes reliés entre eux par l'opérateur «et» génèrent un sous-ensemble unique dans le fichier de sortie.

5) Lorsqu'une catégorie est spécifiée sans code de données, tous les codes sont inclus dans le fichier de sortie.

6) Les catégories doivent être tapées exactement comme elles sont définies dans le programme HSG (les majuscules en majuscules et les minuscules en minuscules).

7) Les codes de données doivent être tapés exactement comme ils sont définis dans les fichiers de données d'entrée (les majuscules en majuscules et les minuscules en minuscules).

8) Les clauses sont évaluées de gauche à droite. Dans le fichier de sortie, les données sont réarrangées dans le même ordre que les clauses.

9) Les catégories qui ne sont pas spécifiées dans la requête ne se présentent pas dans le fichier de sortie.

10) La requête doit être encadrée par des guillemets.

Exemple :

```
«TYPE=volume:SPECIES:SITE=X+1/2+3»
```

La requête ci-dessus est constituée de trois clauses. La première spécifie que le récapitulatif doit être produit uniquement pour la catégorie principale «volume». La deuxième spécifie la catégorie «ESPÈCE», sans code. Par conséquent, tous les codes correspondant à la catégorie «ESPÈCE» sont inclus dans le fichier de sortie. La troisième clause définit deux divisions dans la classe de fertilité : la première constituée des codes de classe de fertilité X et 1, la deuxième constituée des codes de classe de fertilité 2 et 3. Aucun autre code de classe de fertilité ne sera pris en compte.

Comme nous l'avons déjà mentionné, les catégories sont définies dans le modèle HSG. Seules les catégories énumérées dans le tableau 5.1 peuvent apparaître dans une requête. Toutefois, les codes sont ceux qui apparaissent dans les ensembles de données d'entrée. Aucune reprogrammation n'est nécessaire pour pouvoir utiliser un ensemble de codes qui s'appliquent aux conditions locales.

Tableau 5.1 Catégories reconnues par le programme HSG et selon lesquelles le fichier récapitulatif peut être ventilé. Les codes accompagnés du symbole «*» sont définis dans les fichiers de données et n'apparaissent pas dans les programmes. Chaque période d'exploitation simulée est accompagnée du code «YEAR (ANNÉE)».

Nom de catégorie	Codes disponibles	Signification
YEAR	*	période d'exploitation
TYPE	volume	matériel sur pied actuel
	incr	accroissement périodique
	mort	mortalité périodique
	area	superficie en hectares
STATUS	rsrd	classée
	hrvt	récoltée
	avbl	non classée
SPECIES	*	code d'espèce
SITE	*	code de classe de fertilité
AGE	*	classe d'âge

PSCHART, SUNCHART, TEKCHART, IBMCHART

Les programmes PSCHART, SUNCHART, TEKCHART et IBMCHART produisent des histogrammes à partir des fichiers récapitulatifs. Le programme PSCHART génère un fichier qui contient des commandes de description de page «Postscript». Lorsqu'on fait imprimer ce fichier par un poste d'impression «Postscript», l'ensemble de données considéré est représenté par un diagramme à barres. La commande SUNCHART produit un histogramme à l'intérieur d'une fenêtre à l'écran d'un micro-ordinateur SUN. Le programme TEKCHART génère une suite de codes graphiques qui permettent la représentation de l'ensemble de données à l'écran d'un terminal graphique Tektronics 4105 ou d'un terminal qui émule ce dernier. IBMCHART est un programme MS-DOS qui affiche des images sur l'écran d'un terminal graphique compatible IBM-PC. Voici la syntaxe des programmes PSCHART, SUNCHART et TEKCHART :

```
Syntaxe :   pschart < récapitulatif >
            fichier ps
            sunchart < récapitulatif
            tekchart < récapitulatif
            ibmchart < récapitulatif
```

Dans l'exemple ci-dessus, «récapitulatif» désigne le nom du fichier récapitulatif d'entrée et «fichier ps» le nom du fichier de sortie. Aucun autre paramètre n'est transmis au programme PS_CHART. Le fichier «Postscript» de sortie peut être imprimé sur une imprimante à laser «Postscript» au moyen de la commande UNIX 1pr.

TWOWAY

TWOWAY est un programme qui reformate un fichier récapitulatif en un tableau bidimensionnel qui peut être traité par d'autres programmes. Les fichiers produits par TWOWAY peuvent être chargés dans un système de gestion de base de données, un tableur ou un programme statistique. Voici la syntaxe de la commande TWOWAY :

```
Syntaxe : twoway < récapitulatif >
          fichiertab
```

Dans l'exemple ci-dessus, «récapitulatif» désigne le nom du fichier récapitulatif d'entrée et «fichiertab» le nom du fichier de sortie.

TABLE

La commande TABLE lit les tableaux produits par TWOWAY et les convertit en un rapport présenté de façon bien lisible qui peut être imprimé par une imprimante par lignes. Le rapport comporte des entêtes de ligne et de colonne ainsi que des sous-totaux pour chaque catégorie. Voici la syntaxe de la commande TABLE :

```
Syntaxe: table < fichiertab > fichiersortie
```

Dans l'exemple ci-dessus, «fichiertab» désigne le nom du fichier produit par le programme TWOWAY et «fichier sortie» serait remplacé par un nom qui référera à un fichier de sortie..

Références

Baskerville, G. 1982. Use of WSM2 in forest dynamics labs. Department of Forestry, University of New Brunswick, Fredericton, N.B. Non publié.

Hall, T.H. 1977. WOSFOP, instruction manual. New Brunswick Department of Natural Resources, Fredericton, N.B. Non publié.

HENCO. 1985. Info reference manual. Henco Software Inc. Waltham, MA.

NBFRAC. 1986. Yield curve construction for natural stands. N.B. Department of Natural Resources. Fredericton, N.B. Non publié.

Newnham, M. 1988. FIRFOR - A simple forest management model. Forestry Canada Inf. Rep. PI-X-72.

Wang, E.; Erdle, T.; Rousell, T. 1987. Forman wood supply model user manual. New Brunswick Executive Forest Research Committee. Fredericton, N.B. Non publié.

Remerciements

Les auteurs voudraient exprimer leur reconnaissance au personnel de la compagnie Abitibi-Price Inc. de même qu'au Bureau régional du nord du ministère des Richesses naturelles de l'Ontario. Leurs apports a permis aux auteurs de mieux distinguer les problèmes auxquels les aménagistes forestiers au nord de l'Ontario doivent faire face. Grâce à leurs efforts, c'est avec enthousiasme que nous avons soulevé le défi de participer à ce projet. Nous aimerions remercier, en particulier, MM. Nick Salterelli et George Stanlick de la compagnie Abitibi-price Inc., MM. Martin Lichtfield et Grant Hauer du Bureau régional du nord du ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, ainsi que M. Brian Callaghan du même ministère à Sault-Ste-Marie. La compagnie Abitibi-price Inc. et le Bureau régional du nord du ministère des Richesses naturelles de l'Ontario ont apporté leur aide financière à la réalisation de ce projet.

Annexe A

Exemple de passage du programme

Nous allons vous présenter dans les paragraphes qui suivent une suite de commandes types permettant d'appeler le programme HSG et d'afficher les résultats produits par celui-ci. Dans cet exemple, les commandes qu'on doit taper au clavier apparaissent dans un jeu de caractères spécial. La syntaxe des commandes présentée dans cet exemple est adaptée au système d'exploitation UNIX.

1) Préparation du fichier répertoire

Le fichier répertoire contient un enregistrement pour chaque peuplement forestier dont on désire modéliser le comportement. En général, on doit rédiger un programme pour convertir les fichiers répertoires du format «local» au format «HSG». Comme le fichier répertoire contient des données sous forme binaire, le programme de préparation du fichier répertoire doit être capable d'écrire des données dans ce format. Un programme a été développé pour convertir le «fichier des peuplements FRI» du ministère ontarien des Ressources naturelles au format HSG. On appelle ce programme au moyen de la commande ci-après :

```
friter < fri.dat > stand. data
```

2) Préparation du fichier des conditions d'admissibilité

Le fichier des conditions d'admissibilité doit être converti du format «base de données relationnelles» au format «HSG». Un programme a été développé à cette fin. On appelle ce programme au moyen de la commande

```
cnstprep < access.blk > access.cns
```

La forme de la commande ci-dessus suggère d'attribuer l'extension `.blk` aux fichiers relationnels et l'extension `.cns` aux fichiers de conditions d'admissibilité. Bien qu'on puisse se servir de n'importe quelle extension, cette façon de procéder plus cohérente facilite l'organisation et la description des fichiers.

3) Préparation des autres fichiers de données

Les autres fichiers de données exploités par le programme doivent respecter le format décrit dans le chapitre 3. La plupart de ces fichiers sont en ASCII et peuvent être préparés au moyen d'un système éditeur de texte.

4) Préparation du fichier des paramètres d'entrée

On doit constituer un fichier de paramètres contenant les instructions de gestion du programme HSG. Ces instructions spécifient les fichiers de données obligatoires et optionnels et définissent les règles et les quotas qui régissent la simulation. On ajoute au nom du fichier des paramètres l'extension `.act` qui indique que celui-ci décrit les activités que le modèle doit simuler.

5) Appel du programme

On peut appeler le programme géré par un fichier d'activités au moyen de la commande ci-après :

```
hsg < basic.act > basic.sum
```

On suppose dans l'exemple ci-dessus que le fichier d'activités porte le nom «`basic.act`». On ajoute au nom du fichier de sortie l'extension `sum` pour indiquer qu'il contient des données récapitulatives. Lors de l'appel du programme, un certain nombre de données de diagnostic s'affichent à l'écran du pupitre; les résultats sont conservés dans le fichier `sum` ou dans les fichiers désignés par les instructions de gestion du programme `HSG`.

6) Examen du contenu du fichier récapitulatif

On peut examiner le fichier récapitulatif de plusieurs façons. En général, on peut, au moyen du programme SUBSET, extraire du fichier récapitulatif des tranches d'information. Les données extraites au moyen du

programme SUBSET peuvent être représentées sous forme d'histogrammes ou de tableaux. Les enregistrements sélectionnés par le programme SUBSET sont spécifiés au moyen d'une requête. La syntaxe de cette dernière est décrite en détail dans le chapitre 5. Dans les exemples ci-après, un histogramme et un tableau représentant l'évolution au cours de la période de simulation du matériel résiduel sur pied, ventilé par espèces, sont produits.

```
subset -i    'YEAR:TYPE=volume:STATUS=avb1:SPECIES' < basic.sum |   sunchart
subset -i    'TYPE=volume:STATUS=avb1:YEAR:SPECIES' < basic.sum |   table
```

Les commandes ci-dessus fonctionnent en «pipeline», c'est-à-dire que les résultats produits par un programme sont fournis en entrée au programme suivant. Dans les exemples, les requêtes sont exprimées différemment selon qu'on veut obtenir un tableau ou un histogramme, bien que les mêmes données soient extraites. Une modification dans l'ordre d'apparition des catégories dans la requête affecte l'apparence du tableau ou du diagramme. La commande TABLE produit des tableaux à n colonnes, la catégorie située à l'extrême gauche dans la requête étant représentée dans la dernière colonne du tableau. Pour obtenir des tableaux qui soient le plus compacts possible, les catégories qui comportent le plus grand nombre de codes de données doivent être spécifiées à droite dans la requête. Le programme CHART produit des histogrammes dont la barre, qui est située le long de l'axe des x, correspond à la catégorie située la plus à gauche dans la requête.

7) Affichage du calendrier d'exploitation ou des fichiers d'instantané au moyen du SIG.

Lorsque l'examen des données récapitulatives révèle qu'une récolte satisfaisante a été obtenue, on peut obtenir une représentation détaillée du calendrier d'exploitation au moyen du SIG. Bien qu'il n'entre pas dans notre intention d'étudier dans le détail les diverses variétés de SIG, le processus général consiste à associer les fichiers générés par le programme HSG au système de gestion de la base de données relationnelle, à relier les fichiers de cette base au SIG et à obtenir une représentation du calendrier d'exploitation au moyen des programmes de production de cartes du SIG.

Annexe B. Compatibilité et performance du programme

Dans le développement de ces programmes, on s'est toujours efforcé d'assurer leur transférabilité d'un système informatique à l'autre. Tous les programmes ont été rédigés dans la langue de programmation «C» pour être utilisés sur le micro-ordinateur SUN. En outre, les programmes ont été compilés pour pouvoir faire fonctionner dans MSDOS à un IBM 80386 avec le gestionnaire de mémoire virtuelle Pharlap. Ces programmes devraient fonctionner, avec uniquement des modifications mineures, sur n'importe quel ordinateur à mémoire virtuelle doté d'un compilateur «C» et des sous-programmes de compatibilité UNIX listés dans le tableau B.1.

Le logiciel décrit dans le présent document a été testé au moyen d'un ensemble de données portant sur une forêt de 1,2 million d'hectares dans la région d'Iroquois Falls dans le nord de l'Ontario. Le répertoire était constitué de 36 000 peuplements forestiers représentés par un SIG couvrant 161 feuilles de carte numérisées à une échelle de 1/20 000. D'après les résultats obtenus, le programme permet de simuler 10 périodes de 10 années chacune en 10 minutes à un micro-ordinateur SUN 4/110.

Les performances du programme dépendent fortement de la superficie de la forêt à analyser et la consommation de la mémoire croît linéairement avec le nombre de peuplements. Dans l'exemple d'Iroquois Falls, il a fallu 8Mo de mémoire virtuelle pour l'analyse de 36 000 peuplements.

On a besoin d'une mémoire secondaire (espace disque) pour le stockage des ensembles de données d'entrée et de sortie. La volume d'espace disque nécessaire dépend de la taille des ensembles de données d'entrée et des options utilisées. En général, les fichiers d'instantané ont la même taille que le fichier répertoire. Le fichier calendrier nécessite 94 octets par enregistrement de sortie. La taille des fichiers récapitulatifs dépend du nombre de combinaisons d'espèces, de classes de fertilité et de classes d'âge ainsi que du nombre de périodes de simulation. Dans l'exemple d'Iroquois Falls, les fichiers récapitulatifs avaient une taille de 1Mo.

Tableau B.1 Sous-programmes de base obligatoires

Nom de sous-programme	Fonction
alloc, calloc	allocation de la mémoire virtuelle
free	libération de la mémoire virtuelle
atoi	conversion d'un caractère en entier
strcpy, strcmp, strtok	utilitaires travaillant au niveau des chaînes de caractères
fscanf, sscanf	lecture formatée
fprintf, sprintf	écriture formatée
fopen	ouverture du fichier système
fclose	fermeture du fichier système
fgets, getc	lecture de données dans un fichier
fputs, putc	écriture de données dans un fichier